

Министерство образования и науки Украины Харьковский национальный
университет им. В. Н. Каразина

С. Н. Шамрай В. И. Глущенко

Основы полевых исследований в фитопатологии и фитоиммунологии

Учебно-методическое пособие для студентов биологических
специальностей

Харьков – 2006

УДК 631.421:581.2

ББК 44.7в6

Ш19

*Утверждено на заседании ученого совета биологического факультета
Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина
(протокол №3 от 17.03.2006)*

Рецензенты: **Марютин Ю. Ф.**, зав. каф. фитопатологии ХНАУ,

к.б.н., профессор.

Петренко В. П., зам. директора по научной работе Института растениеводства им. В. Я. Юрьева (Харьков), д-р.
с.-х. н.

Шамрай С. Н., Глушенко В. И. Основы полевых исследований в фитопатологии и фитоиммунологии: Учебно-методическое пособие. - Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2006. – 64 с.: ил.

В пособии изложены основные методы организации и проведения полевых опытов в фитопатологии и фитоиммунологии. Освещены общие вопросы постановки полевого опыта, описаны методы диагностики болезней сельскохозяйственных культур, методы учета пораженности растений и степени развития заболеваний на них. Рассмотрены шкалы учета иммунности растений, оценки вредоносности болезней и эффективности защитных мероприятий.

Для студентов биологических и сельскохозяйственных специальностей.

УДК 631.421:581.2

ББК 44.7в6

© Харьковский национальный университет
имени В. Н. Каразина

© Шамрай С. Н., Глушенко В. И., 2006

© Макет обложки Леонтьев Д.В., 2006

ВВЕДЕНИЕ

Фитопатология и фитоиммунология - это одни из главных областей знаний, изучающие болезни растений и их устойчивость к инфекционным заболеваниям. В комплексе с другими науками, они дают теоретическое обоснование и практические рекомендации по современным технологиям возделывания сельскохозяйственных культур. Каждая из этих наук имеет свои объекты и методы исследований. Вместе с тем, в методологии изучения растительных организмов во всех их взаимосвязях с окружающей средой есть и общее - это всестороннее исследование растений в лабораторных и полевых условиях. Естественно, что в зависимости от поставленной задачи лабораторные и полевые методы специфичны в каждом конкретном случае. В сельскохозяйственной практике чаще всего используются оба этих методических подхода. Как бы ни были аргументированы результаты лабораторных исследований, окончательное решение об эффективности разрабатываемого и внедряемого метода может быть принято только после полевых исследований. В целом ряде случаев проводятся только полевые исследования, особенно в защите растений.

Проведение полевого опыта имеет не только прикладной аспект. Научной основой растениеводства является всестороннее изучение биологии культурных растений методами различных биологических дисциплин. При этом вполне очевидна необходимость изучения растений в естественной среде обитания. Для культурных растений - это искусственные экосистемы - агроценозы.

Таким образом, в целом в агрономии, в фитопатологической практике, в фитоиммунологических исследованиях по селекции растений на устойчивость к болезням и вредителям полевые методы являются важнейшим инструментом научного поиска.

Организация и проведение полевых исследований подчинены целому комплексу общепринятых методических приемов, требований и принципов. Следовательно, для правильной постановки полевого опыта необходимы определенные теоретические знания. Квалифицированный специалист-фитопатолог должен иметь ясное представление о существующих методах полевых исследований.

К настоящему времени накоплен и обобщен большой опыт в организации полевых исследований. Существует достаточное количество учебной и методической литературы. Однако следует отметить, что в имеющихся учебниках основное внимание уделено методам, применяемым в агрономии. Вопросы, касающиеся полевых методов в фитопатологии и фитоиммунологии, освещены недостаточно либо вовсе

отсутствуют. Кроме того, большинство учебников изданы давно и стали библиографической редкостью, а имеющиеся в научных учреждениях методические рекомендации практически недоступны для учебного процесса. Восполнить эти недостатки и предназначено данное учебное пособие.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Перед экспериментальной наукой фактически стоит единственная задача - объяснить наблюдаемые явления. То объяснение, которое на определенный момент является общепризнанным, которому не противоречат результаты экспериментов, считается «истинной» в конкретном вопросе конкретной науки. Как только появляются факты и сведения, противоречащие устоявшемуся объяснению, оно модифицируется или полностью видоизменяется, и «истинным» считается уже новое объяснение. Любая естественная наука достигает решения этой задачи посредством эмпирических или теоретических исследований, взаимодополняющих друг друга. Только по результатам эмпирических исследований может быть построена теоретическая модель изучаемого явления. С другой стороны, без теоретического моделирования наше представление о наблюдаемом явлении так и останется массивом эмпирических данных, не имеющих рационального объяснения.

Приступая к изучению того или иного явления, ученый обычно всегда имеет предварительное теоретическое представление о реальности, т.е. всегда имеет теоретическую модель, построенную либо умозрительно, либо на основании имеющихся данных. Научное исследование чаще всего и заключается в проверке этой модели. В результате проведенного исследования мы выявляем новые отношения между *зависимыми* и *независимыми переменными*, в эмпирических науках нет никакого другого способа представления результатов исследований, кроме как представление отношений между некоторыми количествами или качествами экспериментальных объектов, то есть *признаками*.

1.1. Признаки и переменные

Любой физический объект имеет определенные отличительные *признаки*. Под словом «признак» обычно понимают свойство или особенность, благодаря которой данный объект отличается от другого. В биологии признаки, часто называемые особенностями, позволяют классифицировать живые организмы, отличать один организм от другого, сравнивать их между собой. Некоторые признаки очень стабильны и не изменяются при переходе от одного организма к другому. Например, у всех коров четыре ноги. По такому признаку, как число ног, невозможно отличить корову от лошади, слона или мыши. Однако по наличию рогов коровы легко отличаются от указанных трех животных, хотя и не отличаются одна от другой. Признаки, которые не изменяются при переходе от одного объекта к другому, являются *постоянными* величинами (константами).

Кроме неизменных, есть и другие признаки, которые в более или

менее широких пределах изменяют свою величину у разных объектов одного вида. Особенно характерно варьирование для биологических объектов, т. к. изменчивость является фундаментальным свойством живой материи. Например, на пшеничном поле все растения очень похожи одно на другое. Но при более внимательном рассмотрении отдельных растений мы обнаружим, что они разнятся по высоте, по числу продуктивных стеблей, по площади листьев и по многим другим признакам. Точно так же коровы одной масти и одного возраста похожи одна на другую. Однако при длительном наблюдении за стадом таких коров мы начинаем замечать признаки (размер тела, форма рогов и т. д.), по которым животных можно различать. Вес зерен пшеницы, произрастающей на определенном участке, не равен некоторой постоянной величине, а меняется от зерна к зерну, не только для разных растений, но даже и для зерен в одном колосе. Активность амилазы в слюне человека будет варьировать между отдельными людьми, даже если они и проживают в одинаковых условиях и питаются сходной пищей. Ежегодный прирост массы тела свиней будет различаться от одной свиньи к другой, даже если это свиньи одной породы, одного пола и одинакового возраста и потребляют одни и те же корма. Другими словами, есть признаки, которые являются *переменными* величинами.

Чаще всего именно варьирующие признаки являются предметом исследования в биологических дисциплинах. Конкретная величина любого варьирующего признака у конкретного объекта является *переменной случайной величиной*, или просто *переменной*. Случайной такую переменную называют по той причине, что у каждого объекта (в биологии – у каждого живого организма) она приобретает различные численные значения, в зависимости от не поддающихся предварительному учету *случайных* обстоятельств. В силу невозможности учесть влияние *всех* факторов, сопутствующих росту и развитию каждого организма, интересующая нас величина признака меняется в зависимости от *случая*.

1.1.1. Зависимые и независимые переменные

Целью проведения исследования обычно является выяснение, влияет ли некоторое предпринятое нами воздействие на интересующий признак экспериментальных объектов. Например, мы можем обработать семена какой-нибудь сельскохозяйственной культуры биостимулятором и проверить, будет ли он повышать всхожесть семян или вес проростков. Точно так же нас может интересовать влияние внесения удобрений на урожай, влияние сортовых особенностей винограда на укоренение черенков, влияние pH питательной среды на прорастание спор фитопатогенного гриба и другие подобные вопросы.

В любом случае, мы осуществляем некоторое воздействие на наши объекты. Способы, виды и дозы подобного воздействия в научных исследованиях обычно также называют переменными. Однако это не будут случайные переменные величины, поскольку мы при проведении опыта придаем этим величинам вполне определенные значения. Таким образом, ряд переменных в конкретном исследовании мы контролируем и изменяем по своему усмотрению. Например, мы можем дать больному ту или иную дозу лекарства, растения можно удобрять различными дозами или даже формами азотных удобрений, а свиней можно содержать на разных рационах, различающихся количественно или качественно. В опытах с растениями мы можем использовать разные сорта, придерживаться определенного режима полива или освещенности, плодовых мушек можно подвергать действию разных контролируемых нами температур, в токсикологических исследованиях лабораторным животным дают определенные дозы изучаемого вещества, и т. д. и т. п. Подобного рода переменные, которые определяются и контролируются исследователем, называют *независимыми* переменными. Такое название может показаться странным, так как они-то как раз и зависят от исследователя. Однако здесь важно другое: они *не зависят* непосредственно от объекта исследования, и он никак не может на них повлиять.

Ряд переменных, которые также относят к независимым, не могут контролироваться исследователем непосредственно, поскольку ими нельзя манипулировать. К таким независимым переменным относятся качественные характеристики, например, пол животных. В подобных случаях мы просто приписываем объекты к определенным экспериментальным группам, основываясь на их априорных свойствах, но влиять на эту переменную у конкретного животного или человека исследователь не может. При проведении опытов независимые переменные часто называют *факторами*.

Совершенно иначе обстоит дело с теми переменными, которые мы подсчитываем или измеряем, то есть для определения величины которых мы и проводим исследование. Например, у больного мы можем измерять кровяное давление, у свиньи - ежесуточный прирост, у гороха подсчитать распределение семян по окраске и форме, а у ячменя - определить урожай. Эти переменные полностью зависят от объекта исследований, от его реакций, свойств и намерений. Такого рода переменные называют *зависимыми*. Заметим, что величина зависимых переменных не зависит от намерений и желаний исследователя.

1.1.2. Дискретные и непрерывные переменные

В зависимости от свойств анализируемого признака, в наиболее общем плане переменные могут быть двух типов: *дискретные* и *непрерывные*. К дискретным переменным относятся переменные, являющиеся результатом подсчета. Эти переменные могут принимать только целочисленные значения. Например, в семье может быть 0, 1, 2, 3 или другое количество детей. Однако число детей может быть только *целым*. Аналогичным образом в колосе пшеницы может быть только целое число зерен, в классе могут быть только целое число мальчиков и девочек, в помете свиноматки может быть только целое число кабанчиков и свинок. Точно так же из определенного числа черенков может укорениться только целое их число, в некоторой местности распределение жителей по группам крови тоже может характеризоваться только целыми числами.

Непрерывные переменные являются результатами измерения, и они могут принимать любые (не обязательно целые) значения в некотором интервале. Непрерывными переменными являются рост и вес человека, кровяное давление, урожай растений, активность фермента, надой молока, привес свиней и многие другие подобные величины.

1.1.3. Качественные, порядковые и количественные признаки и шкалы их измерения

Для того чтобы измерить конкретную величину конкретного признака, мы используем определенную *шкалу* измерения, и тип такой шкалы определяется природой измеряемого признака. Признаки могут быть *качественными* (*номинальными*), *порядковыми* (*ординальными*) и *количественными*.

Качественные признаки нельзя упорядочить, измерить и сравнить, то есть над ними нельзя проводить никаких арифметических действий. Они просто подразделяются на две или более существенно отличающихся группы. Примерами таких признаков являются пол, национальность, страна проживания, окраска, сорт растений, порода животных и т. д. Мы не можем говорить о величине такого признака, мы можем только подсчитать число объектов в некоторой группе, которые обладают тем или иным признаком. Например, мы можем посчитать число горошин зеленого цвета, или число самок и самцов в помете свиноматки. Качественные признаки всегда связаны с дискретными переменными, численные значения которых выражаются целыми числами (хотя *средние* величины могут быть и дробными - например, в семьях определенной местности вполне может быть *в среднем* 1,3 мальчика).

Порядковые, или *ординальные*, признаки позволяют ранжировать

объекты в зависимости от того, в большей или меньшей степени они обладают качеством, выраженным данным признаком. Однако они не позволяют сказать, *на сколько* больше или *на сколько* меньше. Хорошим примером таких признаков являются экспертные оценки, в частности дегустация. Например, дегустаторы могут определить, что вино марки А имеет лучший вкус и более приятный аромат, чем вино марки Б, однако сказать, что разница между винами по вкусу равна, например, 21 %, нельзя. Как правило, порядковыми переменными являются разного рода визуальные оценки, например, при определении пораженности растений определенным заболеванием, выраженной в баллах или условных процентах, или состояние больного (тяжелое, среднее или легкое). При работе с порядковыми признаками мы также используем дискретные переменные, например, подсчитываем число людей, перенесших грипп в тяжелой форме, среди вакцинированных и не вакцинированных, и т. д.

Количественные признаки можно непосредственно измерять, а их величины могут изменяться в определенных пределах. Например, число зерен в колосе, вес и рост людей, привесы свиней, яйценоскость курей, температура тела, активность ферментов, число пораженных головней растений в пробе – все это количественные признаки. Однако не все количественные признаки поддаются прямому сравнению. Это зависит от того, являются ли они *интервальными* или *относительными*.

Интервальные признаки позволяют не только упорядочивать объекты, но и численно выразить и сравнить различия между ними. Однако их нельзя непосредственно сопоставить. Хорошим примером интервальной шкалы является температура, измеренная в градусах Фаренгейта или Цельсия. Мы с уверенностью можем утверждать, что температура 36,6° С меньше, чем температура 37,1° С. Более того, если температура в одном случае увеличилась от 15° до 20° С, а в другом случае – от 15° до 30° С, то мы можем сказать, что во втором случае *изменение* температуры было втрое большим, чем в первом. Однако сказать, что температура 30° С *вдвое* больше температуры 15° С было бы ошибкой (на самом деле она больше примерно на 5 %).

Относительные признаки подобны интервальным признакам. Однако их характерной чертой является наличие определенной нулевой точки (начала шкалы измерения). Таким образом, связанные с этими признаками переменные мы можем непосредственно сравнить. Типичным примером таких переменных является температура по Кельвину. Мы можем не только утверждать, что температура 200° К выше, чем 100° К, но и то, что она вдвое выше. Интервальные шкалы не дают та-

кой возможности. Относительными признаками являются рост, вес, активность фермента, содержание глюкозы, плодовитость, число зерен в колосе, кровяное давление и т. д., то есть большинство количественных признаков, с которыми исследователь имеет дело.

Количественные признаки могут оцениваться дискретными и непрерывными переменными.

1.2. Наблюдение и опыт

Общепринятыми приемами эмпирического научного исследования являются наблюдение (обсервационное исследование) и опыт (экспериментальное исследование). В каждой науке они имеют свои особенности и проводятся по определенным методикам. Однако не всегда наблюдение и опыт можно четко дифференцировать, так как наблюдение часто является составной частью опыта.

Проводя наблюдение, исследователь не влияет на зависимые и независимые переменные, а лишь измеряет и регистрирует их. Наблюдения широко используют в биологии, сельском хозяйстве и других областях. Например, наблюдения характерны для метеорологии (мы *наблюдаем* за направлением ветра и температурой воздуха, но не можем *влиять* на них), популяционной биологии (мы *наблюдаем* распределение аллелей разных генов в популяциях живых организмов), эпифитиологии (мы *наблюдаем* за распространенностью и развитием заболеваний в посевах определенной культуры в различных почвенно-климатических зонах), в этологии животных (мы *наблюдаем* за поведением животных, стараясь их не спугнуть) и т. д. Хотя в последнем случае мы можем предварительно *создать* для животного определенную ситуацию, а затем *наблюдать* за его поведением, то есть в одном исследовании объединить опыт и наблюдение.

Наблюдение можно определить как регистрацию количественных или качественных, статичных или динамических признаков, свойств или состояний интересующего исследователя явления или процесса.

Наблюдения имеют принципиальные недостатки, которые следует принимать в расчет при формулировке выводов. При проведении обсервационных исследований отмечаются значения переменных, которые мы считаем независимыми, и регистрируются соответствующие этим значениям величины зависимых переменных. Выявив определенную взаимосвязь (корреляцию) между первыми и вторыми, исследователь пытается обосновать причинно-следственные отношения между переменными. Однако насколько надежно такое доказательство? В обсервационном исследовании мы *никогда* не можем быть уверены, что

обследованные нами группы объектов различаются *только* тем признаком, который мы считаем независимой переменной и по которому эти группы были сформированы. Особенно это касается ретроспективных наблюдений, когда мы имеем дело с данными, полученными в прошлом. Основная причина такой ситуации лежит в нарушении фундаментального принципа выборочного метода - равной вероятности любого члена генеральной совокупности попасть в выборку. Другими словами, при проведении наблюдений выборки часто бывают неслучайными.

Тем не менее, обсервационные исследования, в том числе ретроспективные, проводили и будут проводить. Они, как правило, недорогие и позволяют собирать большие объемы информации в короткое время. Кроме того, во многих случаях полноценное экспериментальное исследование провести невозможно. Для исследователя важно помнить о принципиальной возможности неслучайных выборок при проведении наблюдений и соблюдать осторожность в выводах. В частности, важно *до* проведения обсервационного исследования четко задать продуманные критерии, по которым объекты будут относиться к той или иной группе, то есть четко и однозначно определить независимые переменные.

В отличие от наблюдений, в экспериментах исследователь варьирует независимыми переменными и определяет воздействие этих изменений на зависимые переменные.

Эксперимент, или опыт, является таким приемом научного исследования, при котором необходимые явления или процессы вызываются или изменяются искусственным воздействием на объект изучения, после чего регистрируются какие-либо их особенности, интересующие экспериментатора.

Опыты проводят в строго контролируемых условиях. Они являются основными приемами научного исследования, так как позволяют наиболее глубоко изучать явления. Опыты потенциально могут снабдить нас более качественной информацией в сравнении с наблюдениями. Только в эксперименте можно убедительно доказать причинную связь между переменными.

1.2.1. Классификация опытов

Одним из основных объектов наблюдений и опытов в сельскохозяйственных и биологических науках являются растения. С учетом их автотрофности, возможности выращивания в поле и лаборатории, культивирования как интактных растений, так и культур их органов, тканей и клеток, с растениями в научных исследованиях проводят четыре типа опытов: лабораторный, вегетационный, лизиметрический и поле-

вой. Следует иметь в виду, что различия между этими основными типами в известной степени условны, и они могут сочетаться и дополнять друг друга в конкретном исследовании.

Лабораторный опыт – это исследование, осуществляемое в строго контролируемых условиях, причем в качестве изучаемых объектов могут выступать не только интактные растения, но и их отдельные части, органы или даже отдельные клетки, органеллы и макромолекулы.

Например, мы можем выделить хлоропласты из разных по устойчивости к действию высоких температур сортов пшеницы и сравнить интенсивность протекания реакции Хилла при воздействии на выделенные хлоропласты разных температур. В лабораторных опытах такого рода мы работаем с органеллами растений.

Вегетационный опыт – это исследование, при котором объектом изучения выступают интактные растения, выращиваемые в контролируемых условиях вегетационных домиков, теплиц, оранжерей, климатических камер и других сооружений.

Сущность вегетационного метода исследований состоит в том, что растения выращивают в искусственной, но агрономически обоснованной обстановке, регулируемой экспериментатором. В условиях вегетационного опыта действие того или иного фактора изучается в наиболее «чистом» виде, при постоянстве или отсутствии действия других, не изучаемых факторов.

При вегетационном опыте растения выращивают в различных вегетационных сосудах в виде водных, гравийных, песчаных или почвенных культур. Совершенствование техники вегетационного метода привело к созданию сложных инженерных сооружений – фитотронов, в климатических камерах которых можно круглый год работать с растениями, моделируя для них любые условия жизни.

Лизиметрический опыт – это исследование динамики почвенных процессов и их влияния на те или иные свойства и особенности роста и развития растений в специальных лизиметрах, позволяющих учитывать и контролировать передвижение и баланс влаги и питательных веществ в естественных условиях.

В отличие от вегетационных опытов, лизиметрические проводят в поле при естественных условиях освещенности, температуры и т. д. Технически лизиметры представляют собой различного рода конструкции из кирпича, бетона, металла и других материалов, в которых почва для выращивания растений отгорожена со всех сторон от окружающей почвы. Мощность слоя почвы в лизиметре может варьировать от глубины пахотного слоя до 12 м. В зависимости от способа наполне-

ния почвой различают лизиметры с почвой естественного строения и лизиметры с насыпной почвой. Основным оборудованием лизиметра являются приспособления, позволяющие изучать и контролировать просачивание воды и растворенных в ней веществ.

Лизиметрические опыты используют для изучения таких вопросов, как водный баланс под различными культурами, вымывание и перемещение питательных веществ почвы атмосферными осадками, определение транспирационных коэффициентов растений в естественных условиях и тому подобные. Следует иметь в виду, что полное отделение почвы в лизиметре от нижележащих слоев создает для растений иные водные, аэрационные и питательные режимы, чем в обычных полевых условиях.

Таким образом, лизиметрические опыты занимают промежуточное положение между вегетационными и полевыми экспериментами.

Как бы ни были ценны результаты лабораторных, вегетационных и лизиметрических опытов, для разработки на их основе практических рекомендаций производству, а также для разработки наиболее обоснованных теоретических моделей изучаемых явлений, связанных с ростом и развитием растений в естественных условиях, такие результаты должны быть проверены в условиях полевого опыта.

Полевой сельскохозяйственный опыт – это исследование, осуществляемое в естественных, близких к производственным, условиях поля на специально выделенном участке.

Основной задачей полевого опыта является установление различий между вариантами опыта для качественной и количественной оценки действия разных факторов на те или иные свойства растений, и, прежде всего, на их урожай и его качество.

Полевые опыты могут сочетаться с вегетационными, что образует так называемый вегетационно-полевой опыт. При этом растения могут определенное время выращиваться в контролируемых условиях, а затем пересаживаться в поле, либо они выращиваются в поле в цилиндрических или квадратных сосудах без дна. Кроме того, в настоящее время существуют стационарные и передвижные климатические вегетационные камеры и передвижные вегетационные домики, которые позволяют на определенное время создавать для растений контролируемые климатические условия на разных этапах вегетации. Это дает возможность экспериментатору оценить влияние каждого климатического фактора на формирование урожая, что невозможно в естественных условиях.

1.3. Классификация полевых опытов и требований к ним

Полевые опыты могут быть проведены на специально выделенных для этой цели стационарных участках, либо ежегодно на новых участках, обычно на полях производственного назначения.

1.3.1. Классификация полевых опытов

Исходя из задач, длительности проведения, числа изучаемых факторов и других особенностей, полевые опыты могут быть классифицированы различными способами. По общей направленности исследований, полевые опыты делятся на две большие группы:

- 1) агротехнические;
- 2) опыты по сортоиспытанию.

Агротехнические опыты предназначены для оценки действия различных факторов, и, прежде всего, приемов возделывания и их сочетаний, на те или иные особенности растений. Например, на пораженность заболеваниями, а также на урожай и его качество. К этой группе относятся полевые опыты по изучению влияния на урожай растений предшественников, удобрений, способов борьбы с вредными организмами, способов обработки почвы и т. д.

В опытах *по сортоиспытанию* при одинаковых условиях оцениваются генетически различные сорта и гибриды растений, на основании чего наиболее ценные по хозяйственным признакам образцы рекомендуются для районирования в той или иной зоне.

Между указанными группами полевых опытов нет резкой границы, т. к. в опытах по агротехнике часто включаются несколько сортов, а сортоиспытательные опыты проводят на разных агротехнических фонах.

В зависимости от количества изучаемых факторов полевые опыты подразделяют на *однофакторные* и *многофакторные*. Однофакторным является опыт, в котором изучается влияние на какой-либо показатель, например, на пораженность растений заболеванием или их урожай, количественного фактора в нескольких градациях (дозы удобрений, пестицидов, полива и т. д.), или сравнивается действие на соответствующий показатель ряда качественных однотипных факторов (разные сорта, предшественники, способы обработки почвы и т. п.).

Опыты, в которых одновременно изучается действие нескольких факторов, называются *многофакторными*. Примером такого опыта может быть изучение влияния на пораженность сельскохозяйственной культуры заболеванием сортовых особенностей и разных фунгицидов. При этом в одном опыте разными препаратами (один фактор) обраба-

тывают различные сорта растений (второй изучаемый фактор).

Опыты называют *единичными*, если их закладывают в отдельных пунктах, независимо друг от друга, по различающимся схемам.

Если же полевые опыты проводят одновременно по одинаковым схемам и согласованным методикам в различных почвенно-климатических условиях в масштабах определенной зоны или всей страны, то их называют *массовыми*, или иногда *географическими*. Примером таких опытов является сортоиспытание сельскохозяйственных культур, которое проводит Госкомиссия по сортоиспытанию.

По длительности проведения полевые опыты разделяют на *краткосрочные*, *многолетние* и *длительные*.

К *краткосрочным* относят опыты продолжительностью от 3 до 10 лет. Они могут быть нестационарными и стационарными. Нестационарные опыты закладываются ежегодно по неизменной схеме с одним и тем же объектом на новых участках и обычно длятся 3-4 года. Этот период считается минимально достаточным для учета влияния разных погодных условий на какой-либо признак. Стационарные опыты закладывают на стационарных участках, и длятся они обычно от 4 до 10 лет.

К *многолетним* относят стационарные полевые опыты продолжительностью от 10 до 50 лет, к *длительным* - более 50 лет. Многолетние и длительные опыты незаменимы при изучении медленно протекающих процессов, например, при накоплении гумуса в почве. В качестве примеров длительных опытов можно привести всемирно известные опыты Ротамстедской опытной станции в Англии с монокультурами пшеницы, ячменя и многолетних трав, заложенные между 1843 и 1855 г.г. С 1876 года изучается продуктивность кукурузы в монокультуре и при 2-3-польных севооборотах в опыте Иллинойского университета в США.

Особое место среди разного рода полевых опытов занимает *производственный сельскохозяйственный опыт*, который представляет собой научно обоснованное исследование непосредственно в производственных условиях и направлен на решение конкретных задач совершенствования сельскохозяйственных технологий.

1.3.2 Требования к полевому опыту

Независимо от числа факторов, длительности проведения и т. д., ценность полевого опыта зависит от соблюдения определенных методических требований. Важнейшими из них являются такие:

- воспроизводимость;
- типичность;

- соблюдение принципа единственного различия;
- проведение опыта на специально выделенном участке;
- достоверность по существу.

Следует отметить, что эти требования, кроме четвертого, справедливы для любых научных экспериментов, а не только полевых.

Важнейшее требование, которому должен отвечать опыт, – это его *воспроизводимость*. Каждый специалист, воспроизведя условия и методики проведения эксперимента с тем же объектом, что и его предшественник, должен получить совпадающие, по крайней мере, качественно, результаты. Невоспроизводимость ставит под сомнение любые выводы, сделанные на основе подобных экспериментов.

Под *типичностью*, или *репрезентативностью*, полевого опыта понимают соответствие условий его проведения почвенно-климатическим и агротехническим условиям района или зоны, где планируется внедрение результатов данного опыта. Любой полевой опыт должен отвечать требованию почвенно-климатической типичности. Совершенно очевидно, что нет смысла изучать, например, возможности борьбы с корневыми инфекциями в полевом опыте, заложенным на песчаных почвах, если результаты работы предполагается использовать на глинистых черноземах. Что касается соответствия опыта агротехническим производственным условиям, то это требование приложимо в основном к производственным полевым опытам.

В понятие «типичность» полевого опыта входит также требование о проведении исследований с типичными для данной зоны культурами, с использованием районированных или перспективных сортов. Если проводятся агротехнические опыты, в которых используют экологически не приспособленные к данной зоне культуры и сорта, то обычно результаты подобной работы не имеют никакой ценности, поскольку районированные культуры и сорта могут совершенно иначе реагировать на изучаемые приемы. По этой причине нельзя распространять выводы подобных опытов на обычные производственные условия. В этой же связи недопустимо, например, изучать заболевание, встречающееся на овощных культурах в теплице, на сортах открытого грунта, и наоборот.

К типичности относится также требование проведения полевого опыта при *общем высоком* уровне агротехники и с семенами растений высокого класса. В противном случае полевые опыты не имеют практически никакой ценности. Например, опыт с удобрениями на некультуренной почве может производить большое впечатление, но он не будет соответствовать практическим условиям обычных старопахотных почв. Подобным же образом можно добиться впечатляющих

результатов по предпосевной обработке семян, если использовать семена с низкой всхожестью.

Соблюдение *принципа единственного различия* означает, что все прочие условия, кроме изучаемого фактора, должны быть одинаковы. Иначе этот принцип можно назвать принципом равенства сопутствующих опыту условий. Это неперемнное требование при проведении любого научного эксперимента, которое должно строго соблюдаться в опытной работе. Например, если в опыте изучается влияние дозы фунгицида на пораженность растений заболеванием, то единственным различием между вариантами опыта должны быть именно дозы. Все остальные условия (почва, сорта, предшественники, удобрения и т. д.) во всех вариантах должны быть одинаковыми.

На практике, однако, при закладке полевых опытов далеко не всегда удается соблюдать полное равенство всех условий, кроме изучаемого. Например, могут сказываться особенности микрорельефа опытного участка, различия в составе почвы в различных местах опытного участка и т. п. Эти проблемы решаются путем использования нескольких повторностей каждого варианта опыта и их размещения на опытном участке специальными методами, например, методом полностью рендомизированных блоков. Об этом речь пойдет позже.

Несмотря на то, что принцип единственного различия – неперемнное условие любого научного эксперимента, его не следует понимать в абсолютном смысле. Например, если сравниваются два сорта пшеницы по устойчивости к какому-либо заболеванию, и один из них по своим биологическим особенностям для оптимального развития требует иной густоты посева, чем второй сорт, то было бы неразумно высевать их одинаковой нормой, так как при этом один из сортов оказался бы в заведомо невыгодных условиях. Точно так же, при испытании разных сортов, уборка урожая входит в изучаемый комплекс, а не является сопутствующим условием, которое следует выравнять. Время уборки урожая связано с длиной вегетационного периода конкретного сорта, и было бы неправильным все сорта убирать одновременно, если длительность их вегетации разнится. В подобных случаях принцип единообразия нужно понимать творчески, исходя из целесообразности и оптимальности.

Требование *проведения полевого опыта на специально выделенном участке* с хорошо известной хозяйственной историей является обязательным для любого полевого опыта. Опыты, проведенные не на специально выделенном и подготовленном участке (на пустырях, дачах), не имеют никакой научной или практической ценности, независимо от задач исследований. Фактически это требование является логическим

следствием принципа единственного различия. Нельзя назвать полевым опытом какие бы то ни было исследования сортов или агротехники, если они проводятся на случайных участках.

Под *достоверностью опыта по существу* понимают логически правильно построенную схему и методику проведения опытов, соответствие их поставленным перед исследователем задачам, правильный выбор объекта и условий. Опыты, недостоверные по существу, часто могут приводить к неверным выводам. К недостоверности опыта по существу может привести использование некачественных материалов (реактивов), оборудования и неуправляемых измерительных приборов.

2.ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

2.1. Планирование

Приступая к решению той или иной проблемы, исследователь, прежде всего, планирует полевой опыт. Под планированием понимают определение целей, задач и объектов исследований, разработку схемы эксперимента, выбор оптимальной структуры полевого опыта и участка для его проведения. Планирование – важнейший элемент научных исследований, представляющий собой ряд последовательных этапов работы. К сожалению, планированию опытов не всегда уделяется должное внимание. А ведь ошибки, допущенные при планировании, нельзя исправить в дальнейшем ни тщательным проведением самой опытной работы, ни последующей статистической обработкой. Здесь уместно привести цитату из книги А. А. Любищева (1986), который, подчеркивая очевидную необходимость осуществления исследований с минимальной затратой сил и средств, пишет (стр. 19): «... многие исследователи видят особую заслугу в том, что проделано огромное количество проб, подвергнуто исследованию огромное количество объектов... Другие исследователи стараются заменить огромное количество объектов исследования чрезмерной точностью наблюдений, полагая, что излишняя точность никогда не помешает. Очень немногие ясно сознают, что число исследованных объектов и точность должны вытекать из конкретных условий исследования. Если же опыт неправильно организован, то педантичная точность и огромность материала ошибочных выводов не предотвратят. Получается, как говорит Р. Фишер, что не только начинают стрелять из пушек по воробьям, но, что еще печальнее, не попадают в воробьев».

В наиболее общем виде, структуру планирования можно разбить на два этапа.

Первый этап включает в себя такие пункты:

- выбор темы;
- определение актуальности исследований;
- формулировку целей и задач исследований;
- выбор объекта или объектов исследований;
- сбор и критический анализ имеющейся информации относительно исследуемой проблемы;
- построение и выдвижение рабочих гипотез (теоретических моделей).

Успешное проведение опыта во многом зависит от *выбора темы* исследований. При этом следует представлять уровень разработанности различных вопросов в области фитопатологии, их перспектив-

ность, запросы теории и практики. При выборе темы следует руководствоваться такими критериями как актуальность, новизна, перспективность. Проблема, для решения которой проводится научное исследование, должна быть ясно и однозначно определена. Если она не может быть сформулирована, то она не может быть и решена.

Уяснив проблему, следует поставить задачи, ответы на которые приведут нас к ее решению. Ответы на них и дают эксперименты, каждый из которых должен иметь четко сформулированную цель. Такой целью могут быть гипотезы, подлежащие проверке, или эффекты, подлежащие оценке. Вопреки этому, цели и задачи исследований довольно часто формулируются в общем виде, что затрудняет их выполнение в пределах одного опыта или исследования. Исследователю следует ограничиться рамками именно того вопроса, на который желательно получить ответ. Например, в области фитоиммунологии тему исследований вряд ли целесообразно озаглавливать как «Изучить механизмы устойчивости такой-то культуры к такому-то заболеванию». Механизмы устойчивости культурных растений к болезням изучаются уже более ста лет, и пока еще многие из них остаются неизученными. Можно ли надеяться их изучить в рамках единственной темы исследований, даже если эти исследования будут проводить большой институт?

При выборе *объекта исследований* следует исходить из поставленных целей и задач, хозяйственного и научного значения различных объектов, планируемых методик и здравого смысла. Вероятно, фитопатологу, работающему в Украине, нецелесообразно выбирать в качестве объекта изучения болезни кофейного дерева или банана.

Изучение *научной литературы* является важным этапом работы, позволяющим избежать ненужного дублирования и не тратить время на «открытие открытого». Собственно говоря, формулировка темы, целей и задач исследования невозможны без знания имеющихся в данной области научных данных. Исследователь должен хорошо знать, что в данной области науки является изученным, что остается неизученным, и ясно представлять, почему это неизученное важно изучить. Только имея эти знания, можно четко сформулировать проблему, для решения которой будут проведены эксперименты. Кроме того, исследователь *никогда* не делает выводы только на основании своего эксперимента, даже если этот эксперимент и был проведен несколько раз. В расчет всегда принимается информация, приведенная в научных публикациях других специалистов. Конечно, если работа ведется в совершенно новом направлении, в котором нет никакой информации, то основой для выводов исследователя будут только его собственные данные. Однако такие ситуации в науке бывают нечасто.

Знание научной литературы необходимо также для выдвижения *рабочей гипотезы*, то есть научного предположения о развитии явлений, на котором основывается объяснение ожидаемых в планируемом опыте результатов. Рабочая гипотеза, выдвигаемая *до* проведения эксперимента (априорно), является важнейшим методологическим инструментом организации научных исследований. Она служит отправным пунктом для составления схемы опыта. Можно сказать так, что сам опыт проводится для проверки рабочей гипотезы. Если результаты эксперимента не противоречат выдвинутой гипотезе, то она углубляется и развивается далее. Если же результаты эксперимента противоречат рабочей гипотезе, то она видоизменяется с учетом новых данных.

Второй этап планирования опыта предусматривает разработку программы исследований. Наиболее важными моментами этого этапа являются:

- определение разделов исследовательской работы;
- определение места и сроков их выполнения;
- составление схемы проведения опытов по каждому разделу;
- составление календарного плана работ по подготовке и проведению полевого опыта, уходу за растениями;
- составление плана фенологических наблюдений за развитием растения, возбудителей болезни и т.д. с конкретным указанием сроков и частоты проведения учетов и наблюдений.

2.2. Закладка полевого опыта

После планирования полевого опыта, специалист переходит к его непосредственному осуществлению. Прежде всего, должны быть проведены выбор и подготовка земельного участка. Земельный участок, отводимый под опыт, должен отвечать принципу типичности по отношению к почвенно-климатическим условиям той зоны, в которых предполагается использовать результаты опыта. Второе требование к почвенному участку – это однородность почвенного покрова, обеспечивающая достаточную точность опыта. Это требование нельзя рассматривать как абсолютное, так как выделить полностью однородный участок бывает довольно трудно. Для правильного выбора и подготовки земельного участка необходимо тщательно изучить его историю, провести почвенное обследование, изучить рельеф, микрорельеф, засоренность и учесть другие возможные факторы.

2.2.1. Выбор земельного участка под опыт

На участках, хозяйственная история которых неизвестна, заклады-

вать опыты не следует, поскольку в этом случае их результаты не имеют практической или теоретической ценности. Лучше всего участок выбирать там, где сам экспериментатор в течение нескольких лет следил за использованием будущего опытного участка и не допускал разнообразия агротехнических приемов на отдельных его частях. Если же такой возможности не было, то необходимо иметь достоверные сведения о том, что в последние 3–4 года земельный участок был полностью занят одними и теми же культурами, возделываемыми по одной технологии.

При отсутствии таких участков можно использовать под опыт поле, отдельные части которого возделывались по-разному. Однако в таких случаях необходимо, чтобы все варианты одного повторения обязательно располагались в пределах участков с одинаковой хозяйственной историей.

Требования к рельефу опытного участка зависят от целей исследовательской работы и изучаемых растений. В большинстве случаев предпочтительный ровный или с однообразным уклоном участок (не более 2,5 м на 100 м). При более значительном уклоне может произойти смыв почвы и внесенных удобрений с одних делянок на другие и даже за пределы участка. Для изучения рельефа участка проводят его подробную нивелировку для составления плана с горизонталями через 0,1–0,2 м. Данные нивелировки, нанесенные на почвенную карту, служат одним из основных показателей при планировании размещения делянок. Кроме макрорельефа, при выборе участка также следует учитывать и микрорельеф («блюдца», бугорки, мелкие ложбинки, различного рода борозды). В некоторых случаях приходится прибегать к планировке почвы, с использованием механизмов или вручную, для ликвидации впадин и бугорков, особенно для участков, на которых предполагается проводить опыты с орошением напуском.

При выборе опытного участка следует также обратить внимание на случайные факторы. В частности, опыты не следует располагать ближе 100–200 м от большого лесного массива, оврага и водоемов, 50–100 м от жилых домов, животноводческих ферм, леса, ближе 25 м от отдельных деревьев, или ближе 10 м от плотных изгородей или проезжих дорог.

Когда выбор земельного участка сделан, проводят почвенные обследования. Необходимо убедиться в типичности почвы и в ее однообразии. Для решения этого вопроса необходимо воспользоваться почвенной картой, а при ее отсутствии – провести детальное изучение почвы. При значительной пестроте почв в пределах участка приходится довольствоваться однородностью почвы в пределах каждого

повторения. Требования типичности и однообразия почвенного покрова при выборе участка не всегда могут строго соблюдаться. Не всегда типичный участок имеет достаточно однородный почвенный покров или рельеф; в то же время хорошо выровненный участок может оказаться не совсем типичным. Поэтому в каждом отдельном случае, в зависимости от различных обстоятельств, приходится в некоторой степени поступаться типичностью или выравниваемостью участка.

2.2.2. Подготовка и изучение участка

Предварительное изучение хозяйственной истории и обследование почвы дают ориентировочное, но далеко не достаточное представление о земельном участке. Перед закладкой полевых опытов нужно провести его дальнейшую подготовку и изучение. Подготовка и изучение участка включает 1–2, реже – больше так называемых уравнительных посевов.

Уравнительным посевом называют сплошной посев какой-либо культуры, проведенный по всей площади выбранного участка для повышения однородности почвенного плодородия. Уравнительными посевами, особенно если их применять несколько лет, можно в некоторой степени устранить пестроту земельного участка, вызванную последствием агротехнических приемов, по-разному применявшихся в прошлом на различных частях участка. Кроме того, уравнительные посевы позволяют провести тщательную борьбу с сорняками и создают необходимый агрофон для будущего опыта. Иногда вместо уравнительного посева весь участок под опыт оставляют под чистым паром, то есть после вспашки не высевается никакая культура и в течение лета тщательно убираются сорняки.

Наибольшее значение уравнительных посевов заключается в том, что глазомерная оценка выравниваемости растений такого посева служит решающим критерием для суждения о пригодности земельного участка под опыт. Она позволяет выделить участки, более-менее однородные по состоянию растений, и забраковать совсем непригодные, например с сильной и непонятной пестротой стеблестоя, солончаками и т. д. Если глазомерная оценка пестроты почвенного плодородия при подготовке участка не была выполнена, то невозможно быть уверенным в достоверности результатов будущего опыта по существу.

Последний по счету уравнительный посев убирают мелко, возможно – малыми делянками, учитывая урожай на каждой из них. Такой посев называют *рекогносцировочным* и используют для оценки выравниваемости почвенного плодородия в различных местах участка.

Однако, как указывает Б. А. Доспехов (1979), рекогносцировочный посев не является обязательным. Обычно определить пригодность

данного поля для закладки полевых опытов и разработать их методику можно по данным почвенного обследования и визуальной оценки изменчивости плодородия на уравнительном посеве. На основании этих данных квалифицированный экспериментатор способен достаточно удовлетворительно планировать методику будущего опыта – определять форму, размер, повторность и расположение делянок.

2.3. Основные элементы методики и техники полевого опыта

Основными элементами методики полевого опыта являются такие: число вариантов и повторностей, площадь и форма делянок, направление их размещения, метод расположения вариантов на земельном участке, система размещения повторений, метод учета урожая, организация опыта во времени.

2.3.1. Площадь, форма и направление опытной делянки

Полевой опыт ставят на делянках, имеющих определенную форму и размер. Как отмечает Б. А. Доспехов (1979), в опытном деле вопросу размера делянки часто придается гораздо большее значение, чем он заслуживает. Ранее наблюдалось увлечение большими делянками (до 1 га и более). Однако во всех странах практика опытной работы показала, что большие делянки ничего не дают, кроме увеличения затрат и снижения точности исследований.

Размер и форма делянки для различных видов полевого опыта зависят от цели и задач исследований, культуры, пестроты почвенного покрова, применяемой агротехники. Вообще говоря, размер делянки должен обеспечивать такое число растений, которое компенсирует индивидуальные генетические различия между отдельными растениями. Поэтому чем крупнее высеваемое растение, тем больше должна быть площадь делянки, чтобы ее размер позволил поместить нужное число растений. Например, для зерновых культур считается, что для исключения влияния изменчивости отдельных растений на точность опыта, на одной делянке должно быть как минимум 80-100 растений. По данным ряда исследований, часто достаточно и 40-50 растений.

При определении размера делянки следует учитывать также особенности агротехники растений и степень механизации полевых работ. В практике опытного дела наиболее широко используются делянки площадью от 50 до 200 м². На начальных этапах исследовательской работы часто используют делянки от 10 до 50 м², однако многие опыты с успехом проводят и на делянках площадью 0,5–2 м² (иногда полевые опыты на делянках такого размера называют микроделяночными

опытами). В любом случае, даже при проведении производственных опытов, нет объективных оснований к значительному увеличению площади делянок.

Форму и направление опытных делянок выбирают по результатам изучения опытного участка. Обычно вытянутая форма делянки гарантирует меньшую ошибку опыта, так как полнее охватывает пестроту земельного покрова. В фитопатологических исследованиях предпочитают делянки квадратной формы, что способствует равномерному распространению возбудителей болезни.

Достоверность опыта во многом зависит от ориентации делянок на опытном участке. Длинные стороны делянок нужно располагать в том направлении, в котором сильнее всего изменяется плодородие почвы, поскольку все варианты опыта должны быть поставлены в одинаковые условия. При наличии полезащитных полос делянки располагают длинной стороной перпендикулярно к ним. При закладке опыта на выровненном по плодородию участке ориентация делянок не оказывает влияния на ошибку опыта.

По краям опытных делянок выделяют защитные полосы (защитки). Различают боковые и концевые защитки. Боковые защитки выделяют вдоль длинных сторон делянок для исключения влияния растений соседних вариантов. Ширина боковой защитной полосы изменяется от 0,5 до 1,5 метра. Иногда боковую защитку просто пропалывают, оставляя проход между делянками.

Концевые защитные полосы шириной не менее 2 м выделяют для предохранения учетной части делянки от случайных повреждений. Кроме этого, часто весь опытный участок или его часть с одноименными культурами засевают защитной полосой по периметру.

2.3.2. Варианты и повторности опыта

Целью любого опыта является определение различий между вариантами опыта и/или установление особенностей действия разного рода факторов на изучаемые объекты. Совокупность всех вариантов опыта составляет *схему эксперимента*.

Число вариантов в схеме опыта зависит от темы исследований и определяется целью и задачами эксперимента. При планировании исследований всегда нужно помнить, что число вариантов оказывает заметное влияние на точность опыта, поскольку с увеличением числа вариантов ошибка опыта возрастает. Это обусловлено тем, что с увеличением числа вариантов увеличивается площадь под опытом, возрастает пестрота почвенного плодородия и расстояние между сравниваемыми вариантами. При большом числе вариантов трудно поместить опыт или его отдельные повторения в пределах однородной по поч-

венному плодородию площадки. Все это увеличивает дисперсию данных опыта, и соответственно - его ошибку. Следует иметь в виду, что при более крупных делянках увеличение числа вариантов значительно *сильнее* увеличивает ошибку опыта, чем при делянках меньшего размера, и это необходимо учитывать при планировании эксперимента.

С другой стороны, если число вариантов очень мало, то площадь опытного участка будет использована нерационально; кроме того, малое число вариантов не всегда может дать достаточно полную характеристику изучаемым факторам. Помимо прочего, необходимо рационально использовать вегетационные периоды. Как свидетельствует практика опытного дела, следует стремиться к тому, чтобы в опыте было 8–12, максимум – 16 вариантов. Увеличение их числа требует, как правило, усложнения методов постановки опыта.

Для каждого варианта опыта используют несколько повторных делянок, поскольку повторности - наиболее действенное средство снижения ошибки опыта. Собственно говоря, проведение опыта без повторностей делает невозможной его оценку статистическими методами. Это допустимо лишь при проведении предварительных, рекогносцировочных и демонстрационных опытов.

Повторностью опыта на территории называют число одноименных делянок каждого варианта, а повторностью во времени – число лет проведения соответствующего опыта.

Территориальная повторность дает возможность полнее охватить пестроту земельного участка и получить более точные средние значения. Повторность во времени позволяет установить действие изучаемого фактора при разных метеорологических условиях.

При увеличении повторности снижается ошибка опыта (пропорционально корню квадратному из числа повторностей). Практика полевых исследований показала, что наиболее оптимальным является проведение полевого опыта в 4–6-кратной повторности. Дальнейшее увеличение числа повторностей нецелесообразно, так как при этом возрастает общий объем работы, но ошибка снижается незначительно. Больше число повторностей применяется только для доказательства слабых эффектов воздействий различных факторов.

Результаты полевого эксперимента сильно зависят от метеорологических условий конкретного вегетационного периода (и года вообще). В этой связи, повторность во времени для краткосрочного опыта необходима для получения достаточно объективной характеристики изучаемого приема в отдельные годы – сухие, нормальные, влажные и т. д. Конкретное количество повторностей во времени зависит от задач исследований и от того, как сложатся метеорологические условия. В

любом случае при планировании опытов следует учитывать, что даже при благоприятном стечении обстоятельств нельзя рассчитывать на получение сколько-нибудь достоверной информации менее чем за три года.

2.3.3. Методы размещения вариантов в полевом опыте

Повторности полевого опыта, то есть делянки, представляющие отдельные варианты опыта, на площади опытного участка размещают по определенным правилам. В простейшем случае делянки всех вариантов и повторностей размещают полностью случайно, не объединяя территориально повторности вариантов в компактные группы (повторения). Такое размещение называют методом *неорганизованных повторений* или *полной рендомизацией* (от англ. random – случайный, выбранный наугад) (рис. 1). Технически при таком размещении всю площадь опытного участка разделяют на одинаковые делянки необходимого размера, число которых определяется схемой опыта и равно произведению числа вариантов на число повторностей, а затем с помощью случайного выбора определяют, какой вариант на какой делянке будет размещен в натуре.

A	B	C	A	D
A	C	A	C	C
D	D	B	A	D
B	B	C	D	B

Рис. 1. Пример полностью рендомизированного размещения четырех вариантов (A...D) полевого опыта, каждый из которых представлен в пяти повторностях.

Такой метод используется только в тех редких случаях, когда нет необходимости контролировать возможное закономерное варьирование почвенных условий эксперимента, и полевые опыты закладываются на хорошо выровненных земельных участках. Кроме того, он может быть эффективен, когда в опыте изучается небольшое число вариантов (2–4) и есть основание не контролировать возможное закономерное варьирование плодородия почвы опытного участка.

Однако чаще всего полевые опыты располагают на площади методом так называемых *организованных повторений*.

Организованным повторением полевого опыта называют часть площади опытного участка, которая включает по одной делянке (повторности) каждого варианта опыта.

Часть земельного участка, отводимого под повторение и включающая все варианты опыта, должна быть достаточно однородной. В то же время между отдельными повторениями допускаются достаточно большие различия.

Размещение повторений на опытном участке может быть сплошным и разбросанным. При сплошном размещении повторения располагаются компактно и имеют общие границы. При этом, в зависимости от конфигурации участка, повторения могут размещаться в один, два и более ярусов. В каждом ярусе должно быть целое число повторений. При разбросанном размещении повторений они по одному или по несколько расположены в разных частях опытного участка или даже на разных участках и не имеют общих границ. К такому методу размещения повторений прибегают обычно в тех случаях, когда нет достаточного по размеру земельного участка, на котором можно было бы разместить все повторения в непосредственной близости друг от друга.

Внутри каждого повторения делянки отдельных вариантов размещают вполне определенными методами. Можно выделить три основных метода, используемых с этой целью: *стандартный, систематический и рендомизированный*.

При стандартном методе один или два варианта опыта чередуются с контролем или стандартом (рис. 2а). Каждую делянку изучаемого варианта сравнивают со своим контролем. Такое размещение основано на идее, что плодородие опытного участка изменяется постепенно, и между урожаями соседних делянок имеется корреляция. Стандартный метод иногда кажется очень простым и надежным для сведения к минимуму ошибок эксперимента. Представляется, что контроль, расположенный возле каждого изучаемого варианта, даст наиболее точную оценку эффективности варианта. Однако практика применения и сравнительной оценки стандартных методов выявила их существенные недостатки, основными из которых являются следующие:

- не всегда наблюдается тесная корреляционная зависимость между урожаями рядом расположенных делянок;
- опытные варианты, расположенные далеко друг от друга, очень трудно сравнивать;
- стандартный метод очень громоздкий, что обусловлено неоправданно большим числом контрольных делянок;
- ненадежность статистических оценок при обработке данных эксперимента (точнее говоря, при стандартном размещении вариантов вообще нет никаких статистических методов оценки результатов эксперимента).

При систематическом методе опытные варианты располагают на

делянках внутри повторений в определенной последовательности. Обычно при размещении повторений в один ярус варианты опыта располагают одинаково в каждом повторении. Например, если в первом повторении варианты располагались в порядке А, В, С, D и Е, то такой же порядок сохраняется и во всех других повторениях (рис. 2б). При расположении повторений в несколько ярусов обычно применяют шахматный порядок, когда последовательность вариантов в повторениях разных ярусов сдвигается.

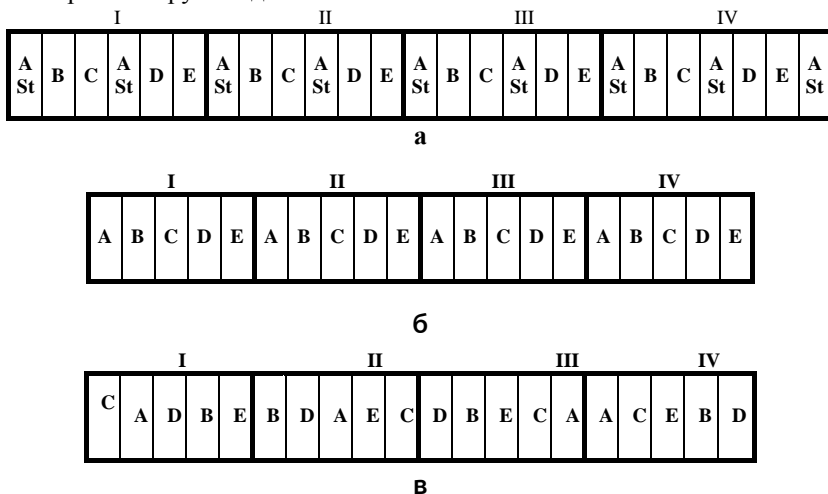


Рис. 2. Методы размещения пяти вариантов (А...Е) по деланкам четырех повторений полевого опыта: а – стандартный; б – систематический; в – рендомизированный. А – вариант, выбранный в качестве стандарта при стандартном методе, что для наглядности обозначено буквами St.

Несмотря на кажущуюся простоту, систематический метод имеет недостатки и часто может приводить к грубейшим ошибкам. Недостатки систематического метода размещения обусловлены двумя причинами: непредвиденным искажением эффектов вариантов и отсутствием подходящих статистических методов для оценки результатов исследований.

В подавляющем большинстве случаев нет никаких причин использовать стандартный или систематический методы размещения вариантов по деланкам опытного участка. Всегда следует придерживаться фундаментального принципа равенства вероятности любого варианта попасть на любую деланку опытного участка, то есть прибегать к случайному размещению. Только в таком случае выводы, которые делаются на основании результатов опыта, будут обоснованным, поскольку

ку методы статистического анализа базируются именно на принципе случайного отбора. Этот принцип соблюдается при использовании наиболее распространенного в мировой практике метода рендомизированных повторений (рис. 2в). Такой метод позволяет уменьшить ошибку опыта при использовании дисперсионного анализа для статистической обработки результатов полевого опыта, поскольку дает возможность уменьшить случайное варьирование результатов на величину, обусловленную влиянием повторений. В каждом повторении варианты распределяю по делянкам случайным образом.

Случайный метод размещения вариантов часто называют также методом рендомизированных блоков, понимая под словом «блок» повторение. Теоретические основы необходимости рендомизации в полевых сельскохозяйственных исследованиях были разработаны еще в 20-30-х годах прошлого века крупнейшим американским специалистом Р. Фишером и в дальнейшем развиты Д. Снедекором и другими.

Разновидностью рендомизированного размещения вариантов являются методы латинского квадрата и латинского прямоугольника. Использование латинского квадрата позволяет в значительной степени устранить из ошибки опыта систематическое изменение плодородия почвы по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Расположение опыта латинским квадратом требует, чтобы число повторений было равно числу вариантов. На площади делянки располагают рядами и столбцами, причем в каждом ряду и столбце должен быть полный набор всех вариантов, и при этом ни один вариант не должен повторяться ни в ряду, ни в столбце. Делянки должны быть квадратной или почти квадратной формы (рис. 3). При удлиненной форме делянок латинский квадрат не имеет никаких преимуществ перед обычным методом рендомизированных блоков.

Е	Д	В	А	С
В	Е	Д	С	А
С	А	Е	В	Д
Д	С	А	Е	В
А	В	С	Д	Е

Рис. 3. Пример размещения пяти вариантов опыта (А...Е) методом латинского квадрата.

При числе вариантов более 8 вместо латинского квадрата используют латинский прямоугольник, однако этот метод, как и метод рас-

щепленных деленок, требует достаточно глубокого понимания методов статистической обработки результатов такого эксперимента, и в настоящем пособии рассматриваться не будет.

2.4. Уход и наблюдения за растениями на опытном участке

Характер полевых работ, проводимых на опытном участке, зависит от выращиваемой культуры, задач исследования и т. д. Обработка почвы, если она сама не является изучаемым фактором, должна быть одинаковой, одновременной и высококачественной на всех деланках опыта. Посев растений на опытном участке, как правило, должен быть проведен в один день. Во всех опытах нормы высева желательно устанавливать по числу всхожих семян, а не по весу.

Важнейшим правилом ухода за опытом является одновременность выполнения агротехнических работ на всем участке. Если же по каким-то причинам это невозможно сделать одновременно, то в течение одного дня работы необходимо завершить на целом числе повторений. Это требование необходимо строго выполнять. Его нарушение приводит к недостоверности опыта по существу, ведь даже незначительный разрыв, например, в сроках обработки или сроках внесения удобрений, всего на 6-8 часов (особенно если за это время пройдет дождь), часто приводит к существенным различиям в росте и развитии растений.

Второе общее требование – высококачественность всех выполняемых работ и равнокачественность их для всех вариантов. Агротехнический фон на опытном участке должен быть оптимальным для проявления эффекта изучаемого приема или сорта.

В общем, уход за растениями в опытном поле не должен отличаться от ухода за соответствующими культурами в производственных условиях. Прополку, междурядную обработку, подкормку и т. д. проводят одинаково на всех деланках опыта и не растягивают во времени. К специальным работам по уходу за опытом относят поделку и прочистку дорожек, обрезку по шнуру концов деленок, а также отбивку защитных полос. Сюда же относится своевременная расстановка колышков, этикеток и т. п. На всей территории опытного участка поддерживают чистоту, не должны оставаться выполотые растения, остатки ботвы, соломы и другого мусора.

В течение вегетационного периода одновременно с уходом проводят постоянные наблюдения за растениями. Наблюдения – это неотъемлемая составляющая в достижении конечной цели полевого опыта, получении максимального урожая.

При изучении влияния на урожай разных агротехнических приемов

или защитных мероприятий недостаточно изучить лишь показатели урожая. Необходимо обязательно учитывать сопутствующие условия и факторы, обуславливающие урожай: погодные условия, зимостойкость, засухоустойчивость, полегаемость, устойчивость сортов к болезням, интенсивность роста растений и время вхождения в ту или иную фазу их развития. Кроме этого, необходимо учитывать тип почв, время проведения всех работ от подготовки почвы до уборки урожая. Только при соблюдении всех этих требований можно охарактеризовать не только полученный конечный результат – урожай, но и выяснить причины получения разных урожаев.

Фитопатологу, в отличие от растениевода, в процессе фенологических наблюдений по существу необходимо решать две теснейшим образом взаимосвязанные задачи:

- 1) вести наблюдения за растениями, быть внимательным к регистрации влияния различных факторов на их рост и развитие;

- 2) следить за развитием заболевания: знать источники инфекции, длину инкубационного периода, цикл развития возбудителя болезни, время появления первых признаков болезни, начало массового развития, диагностики заболевания и другие вопросы.

Следует особо подчеркнуть, что при регистрации различных факторов, проведении учетов пораженности важное значение имеет знание фаз развития растений и правильное применение этих знаний на практике, поскольку данные всех учетов и наблюдений должны быть сравнимы, чтобы можно было сопоставлять результаты исследований, выполненных в разные вегетационные периоды, в разных местах и разными исследователями.

Одним из важных аспектов сопоставимости результатов является точное определение фаз развития растений, при которых проводились учеты. Знание фазы развития позволяет сравнивать данные даже в том случае, когда время посева и продолжительность вегетации различаются для разных вегетационных периодов или в разных местах.

К сожалению, разные исследователи используют различные шкалы для выделения отдельных этапов развития растений. Такие шкалы обычно основаны на детальных фенологических наблюдениях.

Для разных культур используют свои шкалы для характеристики фаз развития растений. Наиболее разнообразные подходы в этом вопросе, вероятно, используют для зерновых культур. Так, часто просто отмечают фенологическую фазу – прорастание семян, всходы, выход в трубку и т. п. Часто используемой является также шкала Ф.М. Куперман, в которой этапы роста и развития растений выделяются на основании этапов органогенеза конуса нарастания. Эти этапы обозначают

либо латинскими буквами от А до W, либо арабскими или римскими цифрами от 1 до 12.

В западной научной литературе часто используют числовую шкалу Фикеса, в которой каждая фаза развития растений обозначается цифрами от 1 до 12, используя десятые доли единицы для более детального описания этапов развития растений.

Каждая из упомянутых шкал идентификации фаз или этапов роста и развития растений, однако, имеет определенные недостатки. Прежде всего, они не описывают весь период вегетации растений достаточно детально. Во-вторых, они являются в значительной степени описательными и не обеспечивают достаточной информации для количественной оценки роста и развития. Вследствие этого данные с трудом поддаются компьютерной обработке.

Наиболее удовлетворительной к настоящему времени для зерновых культур является десятичная шкала, разработанная Зодаксом с соавторами в 1974 году. По этой шкале весь период развития растений разбит на 100 этапов, обозначаемых цифрами от 0 до 99, и шкала Зодакса является фактически международной.

Ниже в качестве примера приведена макрофенологическая шкала, которую используют для определения фаз развития зерновых культур, в частности – озимой пшеницы и ярового ячменя.

Фенологическая фаза	Условное обозначение			Этапы органогенеза конуса нарастания	
	по Фикесу	по Куперман в странах Запада	По Зодаксу (международный код)	озимая пшеница	яровой ячмень

Прорастание:

сухая зерновка			00		
набухшая зерновка			03		
появление первичного корешка			05		
появление coleoptile			07		

Всходы:

выход coleoptile на поверхность	1	A	10	I	I
---------------------------------	---	---	----	---	---

Фенологическая фаза	Условное обозначение			Этапы органогенеза конуса нарастания	
	по Фикесу	по Куперман в странах Запада	По Золаксу (междунациональный код)	озимая пшеница	яровой ячмень
ность почвы (1-й лист свернут внутри фаза 1-го листа (2-й лист появляется из пазухи первого)	1.1	B	11	I	I
фаза 2-го листа (3-й лист растет)	1.2	C	12	I	II
фаза 3-го листа (4-й лист растет)	1.3	D	13	I	II
фаза 4-го и последующих (до 9-го) листьев	1.4-1.9		14-19	1	II
Кушение:					
некустящиеся растения, боковой стебель во влаглище			20	I	II
начало кушения, развит главный и 1-й боковой стебель	2	E	21	I-II	III
полное кушение, развит главный стебель и 5 боковых	3	F	25	II	III-IV
конец кушения, развит главный стебель, 9 и более боковых, образование ложного стебля (листовые влага-	4	G	29	II-III	IV

Фенологическая фаза	Условное обозначение			Этапы органогенеза конуса нарастания	
	по Фикесу	по Куперман в странах Запада	По Зодаксу (междунородный код)	озимая пшеница	яровой ячмень

лица начинают удлиняться)

Выход в трубку:

начало выхода в трубку, главный стебель и боковые побеги выпрямляются (листовые влагалища верхнего листа над поверхностью почвы)	5	H	30	III-IV	IV-Va
на главном стебле замечен 1-й узел	6	I	31	Va	Vb-VI
замечен 2-й узел	7	J	32	Vb-VI	VI-VII
замечен 3-6-й узлы	8	K	33-36	VI-VII	VII
последний лист выходит из влагалища			37		
появления язычка у последнего листа	9		39	VII	VII

Набухание листовых влагалищ:

начало набухания влагалища верхнего листа	10		43		
набухшее влагалище	10.1	M	45	VII	VII
влагалище лопается			47		

Фенологическая фаза	Условное обозначение			Этапы органогенеза конуса нарастания	
	по Фикесу	по Куперман в странах Запада	По Зодлаксу (междунородный код)	озимая пшеница	яровой ячмень
из влагалища появляются ости	10.1		49		
Колошение:					
начало колошения, заметен 1-й колосок	10.2	N	51	VIII	VIII
выколосилась 1/4 колоса	10.2		53		
выколосилась 1/2 колоса	10.3		55		
выколосилось 3/4 колоса	10.4		57		
виден целый колос	10.5	O	59		
Цветение:					
начало цветения (в середине колоса появляются первые пыльники)	10.5.1	P	61	IX	IX
полное цветение (большинство колосьев имеет спелые пыльники)	10.5.2		65	IX	IX
конец цветения (большинство колосков отцвело, висят единичные засохшие пыльники)	10.5.3	Q	69		
Спелость:					
формирование зерновки: первые			70		

Фенологическая фаза	Условное обозначение			Этапы органогенеза конуса нарастания	
	по Фикесу	по Куперман в странах Запада	По Золаксу (международный код)	озимая пшеница	яровой ячмень
Зерновки достигли конечного размера, их содержимое водянистое	10.1		49		
Фаза молочной спелости:					
ранняя молочная спелость	10.5.4	R	71	X	X
средняя молочная спелость (зерновки имеют конечный размер и молочное содержимое эндосперма)	11.1	S	75	XI	XI
поздняя молочная спелость			77		
Фаза восковой спелости:					
ранняя восковая спелость			83		
восковая спелость (содержимое зерновки мягкое, пластичное)	11.2	T	85		
Фаза желтой спелости:					
содержимое зерновки эластичное, плотное, при надавливании ногтем образуются вмятина, зерновку можно разломить	11.3	U-V	87		

Фенологическая фаза	Условное обозначение			Этапы органогенеза конуса нарастания	
	по Фикесу	по Куперман в странах Запада	По Золаксу (междунородный код)	озимая пшеница	яровой ячмень

Фаза полной спелости:

зерновка твердая, растение засохшее, отмирает	11.4	V	91	XII	XII
---	------	---	----	-----	-----

Фаза мертвой зрелости:

мертвая зрелость		W	92		
перезрелость			94		
период покоя зерновок			95		
жизнеспособные зерновки способны прорасти на 50 %			96		
потеря периода покоя			97		
возникновение второго периода покоя зерновки			98		
потеря второго периода покоя			99		

2.5. Ведение документации по опыту

Правильное и регулярное ведение документации и отчетности по опыту является обязательным элементом экспериментальной работы. Объективный анализ и объяснение результатов исследований возможны только при условии учета и своевременного фиксирования всех выполняемых работ, сопутствующих факторов и результатов наблюдений и анализов.

Документация по полевому опыту должна быть полной по содержанию, объективной, своевременной и достоверной. Записи должны быть однотипными.

Обязательными документами полевого опыта являются:

- рабочий план (программа);
- первичная текущая документация (дневник полевых работ);
- вспомогательные документы (рабочие тетради или журналы);
- сводные документы (журнал полевого опыта);
- отчет о проведении полевого опыта.

Рабочий план (программа) опыта составляется исполнителем на определенный календарный год и утверждается на заседании кафедры ВУЗа или отдела института. В нем указывают название темы (раздела), сроки и место проведения опыта, должность, фамилию и инициалы исполнителя и руководителя, обоснование и задачи исследования, а также методы проведения эксперимента в краткой форме.

Рабочий план также включает в себя такие пункты: схему опыта; общие условия проведения опыта (почва, агротехника и т. д.); параметры полевого опыта (площадь делянок, число повторностей и т. д.); перечень и методику проведения учетов, наблюдений и анализов (даты проведения наблюдений за фенофазами растений, даты учетов развития заболевания, даты взятия проб и т. д.); необходимые для проведения опыта материалы и оборудование; ожидаемые результаты.

Важнейшей составной частью рабочей программы является календарный план с перечнем всех видов работ, учетов, наблюдений и анализов с указанием их объемов и сроков выполнения.

Дневник полевых работ должен быть надлежащим образом оформлен. На первых страницах указывается тема эксперимента, место его проведения, фамилии исполнителей, время проведения исследований. Далее описывается схема опыта, приводится чертеж с конкретным планом размещения вариантов на опытном участке.

В дневник заносятся в хронологическом порядке все агротехнические работы, данные учетов и наблюдений, погодные факторы, сопутствующие учетам, наблюдениям и агротехническим работам. Записи ведут непосредственно в поле или лаборатории во время выполнения работы или сразу же после ее окончания. Подчистки не допускаются, исправления следует оговаривать.

Во *вспомогательных документах*, начиная с момента выбора земельного участка под опыт и заканчивая уборкой урожая, следует делать подробные записи, касающиеся характеристики почвы, способов ее обработки, удобрений, подготовки семян к посеву, ухода за посевами. Необходимо систематически регистрировать фенологические наблюдения за ростом и развитием растений. Учеты болезней и вредителей растений проводят в течение всей вегетации с обязательным указанием даты их первичного появления. В документацию следует вно-

сить сведения относительно всех явлений, которые могут повлиять на точность опыта. Особо следует обращать внимание на факторы погоды при опрыскивании растений различными препаратами в борьбе с вредителями и болезнями. Все записи проводят по специальной форме или произвольно, однако целесообразно вести записи по определенной схеме.

Журнал полевого опыта. Журнал полевого опыта является сводным документом, содержащим все необходимые данные для дальнейших обобщений и выводов. В журнале сосредоточен весь основной материал по полювому опыту (текст, таблицы, графики), на основании которого можно составить отчет.

В журнал полевого опыта обязательно заносят следующие сведения: название темы (опыта), сроки и место проведения, фамилии и инициалы исполнителей и руководителя, цель и задачи опыта, схема и план размещения опыта, характеристика и история опытного участка, данные об особенностях почвы и агротехнике, программа и методика исследований, перечень всех проведенных работ с указанием сроков и условий выполнения, обработанные результаты учетов, наблюдений и анализов в виде таблиц, графиков, диаграмм; обработанные результаты учета урожая в пересчете, если необходимо, на 1 га; результаты статистической обработки данных.

Исправления в журнале полевого опыта недопустимы, так же как и записи карандашом.

Отчет о проведении полевого опыта является заключительным этапом экспериментальной работы и оформляется в виде годового или заключительного отчета.

К числу основных требований при составлении отчета относятся четкость построения, логичность изложения материала, убедительность аргументации, краткость и точность формулировок, исключающая возможность субъективного и неоднозначного толкования, достоверность и конкретность изложения результатов, доказательность выводов и обоснованность рекомендаций. Отчет обязательно должен исчерпывающе полно отражать содержание и результаты проведенной работы и иметь доступную форму изложения. Благодаря этому специалист любой категории сможет извлечь из него нужную информацию.

Отчет обычно включает следующие разделы:

- название, исполнители и руководитель темы;
- цель и задачи исследования;
- краткая история вопроса (обзор научной литературы);
- схема, методика и условия проведения эксперимента;

- результаты исследований и их обсуждение;
- выводы;
- рекомендации;
- список использованной литературы.

Научные отчеты подписываются исполнителем и руководителем.

3. МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И УЧЕТА БОЛЕЗНЕЙ РАСТЕНИЙ

3.1. Общие положения

Успех борьбы с заболеваниями растений во многом зависит от своевременного выявления первых признаков и точного диагностирования заболевания, а также прогнозирования возможной динамики его последующего развития в зависимости от биологии возбудителя и факторов внешней среды. Правильное диагностирование болезней, особенно в полевых условиях, требует от исследователя знания особенностей паразитизма и развития возбудителя в онтогенезе растений, характерных признаков при поражении грибами из различных систематических групп. Немаловажное значение для выявления первых признаков и динамики развития болезни имеет знание источников первичной и вторичной инфекции, а также длины инкубационного периода в зависимости от климатических условий.

При диагностике заболеваний необходимо помнить о том, что на растениях развивается множество непаразитарных болезней, то есть заболеваний, связанных с отрицательным действием физических факторов (температура, водный режим, радиация), химических факторов (недостаток макро- и микроэлементов, избыток солей, действие газов), ксенобиотиков (пестицидов, гербицидов). В большинстве своем признаки отрицательного влияния абиотических факторов сходны с инфекционными болезнями, особенно вирусными, микоплазменными и бактериальными.

Учеты болезней сельскохозяйственных культур осуществляются двумя методами: *маршрутными обследованиями* и наблюдениями на *стационарных участках*.

Маршрутные обследования проводят для получения данных о поражении культур болезнями на территории определенного района. Их проводят ежегодно на одних и тех же массивах культур в двух-трех наиболее типичных хозяйствах. Количество и площади обследованных полей устанавливают с таким расчетом, чтобы охватить наблюдениями не менее 10 % площади посевов (насаждений) обследуемой культуры.

Маршрутные обследования проводят обычно 3 раза за вегетационный период: для полевых культур – при появлении всходов, в период колошения или цветения и перед уборкой урожая; для плодово-ягодных культур – сразу после цветения, спустя месяц и перед уборкой урожая.

При маршрутном обследовании проводят общую оценку состояния растений в поле, закладывают пробные площадки, на которых проводят детальное обследование. В зависимости от культуры и типа поражения посева, из растений составляют сноп или их осматривают на корню; оценивают растения в целом, плоды, листья, отрезки рядков и т.д.

Стационарные участки выделяют в базовом хозяйстве, наиболее типичном для данной зоны. Количество участков устанавливают по принципу хозяйственной значимости культур, подлежащих обследованию на пораженность болезнями. Стационарные участки размещают на двух-трех полях массива, где определенная культура поражается комплексом болезней, характерных для данной зоны. Наблюдения на стационарных участках проводят систематически, не реже чем через каждые 10 дней.

Как при наблюдениях на стационарных участках, так и при маршрутных обследованиях, отбор проб для анализа осуществляется по определенным правилам. При равномерном распределении больных растений пробы берут по одной или двум диагоналям участка; при неравномерном – по нескольким параллельным линиям. При очаговом поражении измеряют площади очагов. В зависимости от вида вредного организма и типа насаждения (посева), единицей наблюдения может быть растение, лист, плод, отрезок рядка и т. д.

В практике опытного дела европейских стран приняты несколько иные методы наблюдений за состоянием посевов. При высокой культуре земледелия, использовании эффективных методов агротехники и хорошей выравненности земельных участков, на стационарных участках наблюдения проводят методом так называемых *контрольных площадок*. Контрольная площадка представляет собой квадрат со сторонами 40 шагов (около 30 м) и площадью около 900 м². Пораженность растений определяют по краю контрольной площадки в восьми точках – по ее углам и примерно посередине каждой стороны. Расстояние от края поля до первой контрольной точки должно составлять 40 шагов. Число наблюдений в каждой точке, то есть число учтенных растений, их частей, отрезков рядков и т. д. равно обычно пяти; в конечном итоге, по одной контрольной площадке получают 40 отдельных цифр.

При проведении маршрутных обследований, в подлежащем осмотру посеве прокладывают так называемые *оценочные линии* под прямым углом к краю поля. Линия начинается через 20 шагов (15 м) от края участка. В пяти контрольных точках, расположенных на расстоянии 20 шагов друг от друга, оцениваются по пять растений на наличие симптомов болезни. Таким образом, по каждой линии получают 25 ре-

зультатов оценки.

3.2. Отбор образцов

В большинстве случаев путем визуального контроля, то есть осмотра на месте, удастся установить причину заболевания растений и диагностировать возбудителя. Все же в условиях производства не всегда удастся однозначно определить причину повреждения. В таких случаях возникает необходимость в отборе образцов и их пересылке в организации службы растений или научные учреждения соответствующего профиля для проведения детального анализа. Для этой цели образцы должны быть правильно собраны и упакованы, а сопроводительные данные должны содержать достаточно информации.

При правильном отборе растительных проб вначале проводится внимательное описание визуальных симптомов повреждений: гнилей, увядания, деформаций, изменений окраски и т. д. Следует обращать внимание на специфические выделения растений (слизь, камедетечение, медвяная роса, капельки экссудата) и на присутствие возможного возбудителя (мицелий, плодовые тела). Необходимо внимательно осматривать и те части растений, на которых нет видимых симптомов поражения.

В пробе должно быть максимально возможное количество растений, как с начальными, так и с наиболее типичными полностью развитыми симптомами заболевания. Рекомендуется прилагать к пробе и внешне здоровые растения.

В случае если возможен отбор целых растений, каждое растение осторожно выкапывается с корнями, не отряхивая приставшую к корням землю, поскольку она тоже исследуется. Если же отбор целых растений невозможен, в пробы включают пораженные органы с типичными симптомами, а также здоровые части.

Отобранные пробы следует сразу же упаковать и как можно быстрее передать в учреждение, которое будет проводить их исследование. Для предотвращения загнивания или плесневения следует отбирать только сухие, не смоченные дождем или росой образцы. При пересылке целых растений корни с приставшей к ним землей оборачивают влажной бумагой, полимерной пленкой или помещают в пластиковый мешочек. Для предотвращения загрязнения других частей растений, бумагу или пленку перевязывают у основания стебля.

Небольшие растения или части растений по отдельности заворачивают в сухую бумагу и упаковывают в картонные коробки или деревянные ящики для защиты от раздавливания. Нежные, быстро засыхающие растения укладывают во влажный мох, между влажными пла-

стинами поролона или пенопласта и затем помещают в коробки, выстланные пергаментной бумагой или пленкой. Аналогично упаковывают сочные, легко повреждаемые плоды – томаты, землянику, вишни. В качестве наполнителя используют опилки, торф, отходы пенопласта.

Растения большего размера, типа кустов картофеля и свеклы, заворачивают в бумагу или в пленку и затем упаковывают в ящики. Крупные ветви, части корней и стволов после обертывания бумагой можно упаковать в мешковину, деревянные ящики или обмотать соломой. Длинные и узкие растения или их части по всей длине привязывают к рейке или к палке и пересылают в таком виде. При необходимости, растения можно согнуть или разрезать, если это не влияет на симптомы заболевания.

Каждый отправленный на исследование материал должен иметь сопроводительную записку, содержащую подробную информацию относительно симптомов болезни и сопутствующих условий. В частности существенными являются такие данные:

- точное название вида и сорта растения;
- краткое описание картины поражения и симптомов с упоминанием последовательности их появления во времени, степени пораженности, очаговое или равномерное распределение, фаза развития растения, данные о пораженности в предшествующие годы;
- характеристика местных условий - тип местности (открытая, ограниченная лесополосами или лесом, сухая или влажная), состав почвы;
- описание агротехники и технологии возделывания культуры (предшественник, удобрения, подготовка почвы, время посева, норма высева);
- сведения о погодных условиях (температура, осадки, похолодания, заморозки, туманы, град, снежный покров и т. д.);
- сведения о проведенных защитных мероприятиях, использованных препаратах и их дозах, способах обработки и кратности применения.

3.3. Методы диагностики болезней растений

При фитопатологических обследованиях устанавливается наличие заболеваний растений. Если при проведении обследования посевов и насаждений выявлены больные растения, то в первую очередь проводят диагностику заболевания, то есть устанавливают его причину, и в

случае инфекционного заболевания идентифицируют возбудителя. Для различных возбудителей инфекционных болезней растений используют следующие основные методы диагностики.

Вирусные и виroidные болезни:

Визуальный метод – установление внешних симптомов болезни путем осмотра.

Метод перезаражения – установление инфекционной природы заболевания при передаче вируса здоровому растению соком, механическим способом, насекомыми или иным способом. Доказательством инфекционности служит воспроизведение на том же виде растений симптомов, аналогичных симптомам на исследуемом образце.

Метод растений-индикаторов, с помощью которого определяется реакция некоторых растений на определенный вирус.

Иммунологический (серологический) метод – использование антител к специфическим вирусным антигенам.

Метод электронной микроскопии – с помощью электронного микроскопа устанавливают наличие возбудителя и определяют форму и размер вирусных частиц.

Анатомо-морфологический метод – установление изменения морфологических признаков у больных растений.

Метод включений – основан на анализе образованных вирусом специфических образований в клетках растений.

Бактериальные и микоплазменные болезни (бактериозы и микоплазмозы):

Визуальный метод – установление внешних симптомов болезни путем осмотра.

Культурально-морфологический метод – выделение возбудителя на питательную среду и воспроизведение симптомов заболевания путем искусственного заражения.

Микробиологический метод – выделение возбудителей на питательную среду и изучение их морфологических, культуральных и биохимических признаков.

Иммунологический (серологический) метод – использование антител к специфическим антигенам возбудителей.

Грибные болезни (микозы):

Визуальный метод – установление внешних симптомов болезни.

Микроскопический метод – определение характера изменений в пораженных тканях растений, обнаружение возбудителя и его спороношения.

Биологический метод, или метод искусственного заражения.

Культуральный метод – гриб выделяют на питательную среду и ве-

дуг наблюдение за культурально-морфологическими признаками его культуры.

Иммунологический (серологический) метод – использование анти-тел к специфическим антигенам возбудителя.

Детальное описание выше указанных методов диагностики болезней растений имеется в соответствующих учебных пособиях и методических указаниях.

3.4. Учет распространенности и развития болезней растений

После выявления наличия инфекционного заболевания и идентификации возбудителя проводят оценку распространенности и развития болезни. Существует ряд общепринятых требований к определению этих показателей. Прежде всего эти требования заключаются в том, чтобы оценку распространенности и развития болезни, проводимую разными исследователями в разных зонах и при разных условиях, можно было определенным образом сравнить. Это возможно только в том случае, если учет данных показателей проводится в определенную фазу развития растений. Ведь нельзя сравнить, например, учеты распространенности ржавчины на зерновых культурах, проведенные одним исследователем в фазу кущения, другим – в фазу колошения, а третьим – в фазу восковой спелости.

Результаты будут сопоставимы, если учеты проведены на одном и том же сорте растений, одними и теми же методами и в определенную фазу. Поэтому при проведении фитопатологической оценки посевов или насаждений обязательно отмечают фазу развития растений.

Распространенность, или частота встречаемости болезни, является наиболее простым элементом учета заболевания. Она представляет собой просто долю пораженных растений или их частей от общего числа учтенных растений. Обычно распространенность выражают в процентах и ее величину вычисляют по формуле:

$$I = \frac{a}{N} \cdot 100, \quad (1)$$

где

I – распространенность болезни, %;

a – число больных растений или их частей в пробе, шт;

N – общее число учтенных растений или их частей, шт.

В некоторых случаях величины распространенности болезни вполне достаточно для характеристики состояния посевов. Это относится к заболеваниям, которые обуславливают гибель растения или тех его

частей, которые и составляют урожай. К такого рода болезням относятся многие виды головни, сосудистое увядание и т. д.

Для большинства заболеваний этот показатель недостаточно полно характеризует состояние культуры. Это характерно для того большинства болезней растений, у которых существует количественная взаимосвязь между степенью поврежденности растений фитопатогеном и их структурно-функциональным состоянием и урожаем. В таких случаях требуется количественная оценка степени повреждения растений заболеванием. И такие методы оценки применяются для целого ряда заболеваний разных культур. В основе этих методов лежит глазомерная оценка интенсивности проявления симптомов заболевания, то есть оценка ведется по количеству, величине и интенсивности проявления различного рода некрозов, пятен, налетов, пустул и т. п.

Оценка степени пораженности сельскохозяйственных культур фитопатогенами имеет два аспекта, или преследует две цели: количественную оценку степени пораженности растений и степень иммунности или устойчивости растений. Последний показатель будет рассмотрен в разделе 3.5.

Степень пораженности растений на опытных делянках или пробных площадях в производственных посевах определяется с помощью учета интенсивности пораженности отдельных растений. Интенсивность поражения – это величина пораженной поверхности листьев (количества пораженных листьев) или интенсивность проявления симптомов заболевания на других органах растений, которая определяется глазомерно. Для ее определения существует множество шкал, которые могут быть представлены стандартными рисунками (диаграммами), схематично изображающими вид растений с разной интенсивностью поражения, либо представляют собой словесное описание внешнего вида таких растений.

Во всех шкалах интенсивность поражения растения оценивается либо в условных процентах пораженной заболеванием площади листьев или в баллах.

Для разных заболеваний различных культур с этой целью используются различные шкалы пораженности. Более того, даже для одного и того же заболевания одного и того же вида растений разные исследователи часто используют различные шкалы. В качестве примера стандартной диаграммы можно привести шкалу Р. Ф. Питерсона с соавторами пораженности пшеницы ржавчиной (рис. 4). На ней под схематическими рисунками пораженных отрезков листьев приведены условные проценты пораженности.

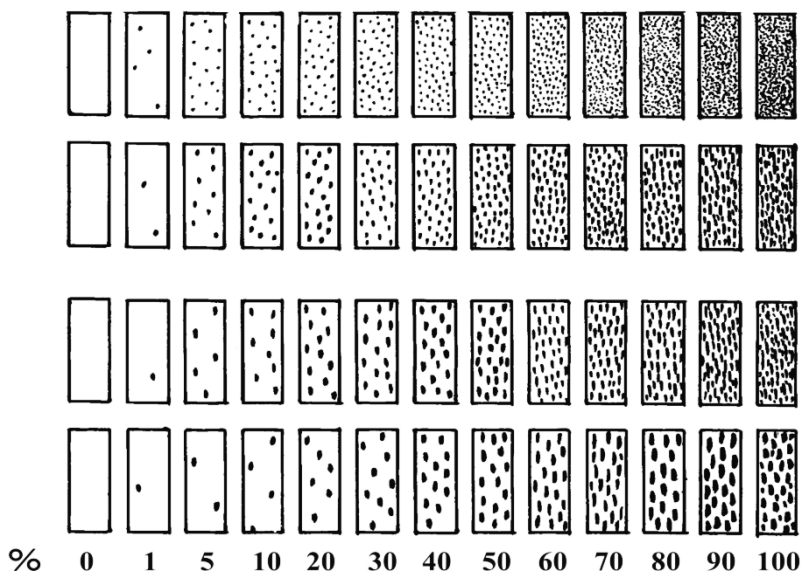


Рис. 4. Шкала Р. Ф. Питерсона для оценки пораженности листьев злаков стеблевой и бурой ржавчиной.

После оценки пораженности каждого растения в образце вычисляют *развитие болезни* (интенсивность развития болезни, степень развития болезни, индекс болезни). Если оценку интенсивности поражения проводили в условных процентах, то развитие болезни вычисляют по такой формуле:

$$R = \frac{\sum(a \cdot b)}{N}, \quad (2)$$

где

R – развитие болезни, %;

$\sum(a \cdot b)$ – сумма произведений процента пораженности растений a на число растений, имеющих соответствующий процент пораженности b ;

N – общее число учтенных растений, шт.

Если же оценку интенсивности поражения заболеванием проводили в баллах, то формула для вычисления развития болезни несколько видоизменяется:

$$R = \frac{\sum(a \cdot b)}{N \cdot K} \cdot 100, \quad (3)$$

где

R – развитие болезни, %;

$\sum(a \cdot b)$ – сумма произведений балла пораженности растений a на число растений, имеющих соответствующий балл пораженности b ;

K – высший балл шкалы учета;

N – общее число учтенных растений, шт.

При проведении учетов пораженности растений результаты удобно записывать в виде таблицы, в которой приводятся необходимые промежуточные вычисления. Рассмотрим использование этих формул на следующих примерах.

Пример 1. При учете пораженности флаговых листьев озимой пшеницы бурой ржавчиной по шкале Питерсона были получены такие результаты:

% пораженности, (a)	0	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Всего
Число растений, шт. (b)	46	51	43	34	25	31	20	23	15	11	10	3	0	312
Произведение $a \cdot b$	0	51	215	340	500	930	800	1150	900	770	800	270	0	6726

Поскольку пораженность растений оценивали в условных процентах, развитие болезни вычисляем по формуле (2):

$$R = \frac{\sum(a \cdot b)}{N} = \frac{6726}{312} = 21,56\%$$

Пример 2. При учете пораженности проростков ячменя корневой гнилью по 4-балльной шкале были получены следующие результаты:

Балл пораженности (a)	0	0,1	0,5	1	2	3	4	Всего
Число растений, шт. (b)	53	72	87	36	30	15	6	299
Произведение $a \cdot b$	0	7,2	43,5	36	60	45	24	215,7

Так как пораженность растений оценивали в баллах, то для вычисления развития болезни используем формулу (3), с учетом того, что высший балл шкалы учета равен четырем:

$$R = \frac{\sum(a \cdot b)}{N \cdot K} \cdot 100 = \frac{215,7}{299 \cdot 4} \cdot 100 = \frac{215,7}{1196} \cdot 100 = 18,03\%$$

Величина развития болезни для конкретной пробы (снопа) растений может изменяться от 0 %, когда ни одно из учтенных растений не имеет симптомов заболевания, до 100 %, когда все учтенные растения имеют высший балл или процент пораженности. Развитие заболевания отражает усредненную степень пораженности одного растения в пробе, характеризующей определенный массив растений.

В случае определения развития болезни в хозяйстве, районе или другой какой-либо территории, вычисляют средневзвешенный процент развития болезни по формуле:

$$Rc = \frac{\sum (Rn \cdot Sn)}{So} \quad (4)$$

где

Rc – средневзвешенный процент развития болезни;

$\sum (Rn \cdot Sn)$ – сумма произведений показателя развития болезни на соответствующую ему площадь;

So – общая площадь всех посевов, на которых были проведены учеты.

Глазомерные оценки пораженности растений, выполненные с применением визуальных шкал учета заболеваний, являются полезными, однако они субъективны. Попытки избавиться от субъективизма привели к разработке более сложных методов учета пораженности растений заболеваниями, например к оценке площади пораженных участков листьев с применением компьютерного анализа образов, либо оценке интенсивности вызванной люминесценции пораженных тканей растений. Хотя подобные методы и позволяют получать точные данные, их применение не получило большого распространения, кроме специальных исследований, поскольку такие подходы сложны, требуют сложного оборудования и длительного времени выполнения.

Более рациональной альтернативой является анализ изображений больших массивов сельскохозяйственных культур, получаемых с самолетов или спутников (дистанционное оценивание). Анализируются изображения либо в видимом свете, либо при других длинах волн электромагнитных колебаний. Такой подход позволяет получать важную информацию относительно общего состояния посевов и прогнозировать ожидаемый урожай. Однако он мало пригоден для оценки пораженности посевов именно конкретным заболеванием.

По указанной причине, шкалы визуального учета пораженности растений остаются чрезвычайно важными и применяются как в практике селекционного процесса, так и при оценке эффективности новых фунгицидов. Но всегда следует помнить об относительной точности таких учетов и о приблизительности количественных оценок, а также о субъективизме при применении таких шкал. Важным моментом является требование о проведении оценок в пределах одного опыта одним и тем же исследователем. Только при этом условии можно получить сопоставимые данные. При проведении исследовательской работы очень полезным является «слепой учет», когда образцы растений отбираются одним человеком и нумеруются в соответствии с вариантами

опыта, а оценку их пораженности проводит другой специалист, не знающий соответствия номеров проб конкретным вариантам. При этом субъективизм глазомерной оценки оказывает значительно меньшее влияние на результаты учета пораженности заболеванием вариантов опыта.

3.5. Методы оценки устойчивости растений к болезням

Одним из наиболее надежных методов контроля болезней растений является выведение устойчивых сортов. Успех селекции на устойчивость к болезням в определяющей степени зависит от правильного подбора устойчивых или иммунных родительских форм. А это, в свою очередь, зависит от эффективности применяемых методов оценки на устойчивость.

В наиболее общем плане методы оценки растений на устойчивость можно разбить на две большие группы: косвенные методы и прямые методы оценки.

Косвенные методы основаны на оценке анатомо-морфологических и физиолого-биохимических показателей растений, для которых доказана высокая корреляция с устойчивостью. Такая оценка может проводиться как при воздействии на растение патогена или его метаболитов, так и без такого воздействия.

Например, зерновые культуры с закрытым типом цветения не заражаются возбудителем пыльной головни. Далее, для некоторых болезней показано, что патологический процесс практически целиком определяется способностью фитопатогенного организма выделять специфические для определенных сортов и линий растений токсины и чувствительностью растений к этим токсинам (например, овес – викторин, кукуруза – Т-токсин, кукуруза – НС-токсин). В таких случаях есть однозначное соответствие – если сорт растений мало чувствителен к специфическим токсинам, то он будет высокоустойчив к заболеванию.

Как показывает практика селекционной работы, в остальных случаях косвенные методы являются ненадежными. Не привели к сколь угодно значительным успехам попытки использовать с целью отбора устойчивых форм культурных растений неспецифические токсины фитопатогенов. Мало надежными являются также «экспресс-методы» оценки устойчивости с использованием определения активности некоторых ферментов после заражения растений, например пероксидаз или фенолоксидаз. Если одни авторы приводили доказательства высокой корреляции, например, величины активирования фермента с уровнем

устойчивости к заболеванию, то другие авторы для той же самой системы растение-патоген и того же фермента показывали отсутствие подобной корреляции.

Таким образом, за исключением случая специфических для растения-хозяина фитотоксинов, практически нет сколько-нибудь надежных косвенных методов оценки устойчивости. Вполне очевидно, что для патосистем, в которых показано взаимодействие в рамках модели ген-на-ген, даже теоретически не может быть метода предварительной оценки устойчивости растений, без их заражения фитопатогенным организмом.

Прямые методы основаны на оценке пораженности испытуемого сорта или линии растения в сравнении с восприимчивым контролем или стандартом. При их использовании растения должны быть заражены патогеном. С этой целью применяют различные инфекционные фоны.

Инфекционный фон – это наличие инфекции и условий, обеспечивающих успех заражения и развития заболевания. При создании инфекционного фона в большинстве случаев регулируют инфекционную нагрузку и условия заражения.

Инфекционная нагрузка – это количество инфекции (спор патогена) на растении-хозяине в пересчете на единицу его поверхности. От величины инфекционной нагрузки зависит заражение и последующее развитие болезни. Возбудители разных заболеваний для надежного заражения растений требуют различной величины инфекционной нагрузки. Высоко агрессивные патогены могут вызвать заражение единственной спорой, в то время как мало агрессивные требуют использования большого спор для надежного заражения растений. Инфекционная нагрузка может быть минимальной, средней (оптимальной) и максимальной. В последнем случае говорят о жестком инфекционном фоне.

В общем инфекционные фоны делят на *естественные* и *искусственные*.

Естественный инфекционный фон – это наличие инфекции или инокулома в природных полевых условиях. Несмотря на удобство и простоту его применения, он имеет недостатки. Прежде всего естественный фон всегда представляет смесь рас или разновидностей возбудителей только данной зоны; кроме этого, невозможно контролировать инфекционную нагрузку и условия. Поэтому, прежде чем использовать естественный инфекционный фон, необходимо как минимум изучить расовый состав, соотношение рас и их типичность для данной зоны, а также характер иммунологических реакций.

Естественный инфекционный фон часто можно повысить, например, применением монокультуры (чаще для почвообитающих патогенов), или выращиванием испытуемых вариантов между восприимчивыми сортами (для болезней типа мучнистой росы или ржавчины).

Иногда, не предпринимая никаких методов заражения растений, на опытном участке создают условия, способствующие заражению растений. Так, для повышения влажности можно делать загущенные посевы, или опрыскивать растения по вечерам. При этом даже в отсутствии дождей и обильных рос можно добиться сильного заражения растений болезнями, для возбудителей которых важно длительное наличие на растениях капельножидкой влаги. В подобных случаях создается так называемый *провокационный фон*, способствующий сильному поражению растений даже без дополнительного внесения инокулюма.

Искусственный инфекционный фон создается на опытном участке, в вегетационных домиках или в условиях фитотрона. При его создании, как правило, регулируются условия для растения, патогена и течения болезни. Обязательным является наличие жизнеспособного источника инфекции с достаточной вирулентностью. При необходимости используют маркированные биотипы или расы возбудителя болезни.

Наряду с естественным и искусственным инфекционным фоном различают недифференцированные и дифференцированные инфекционные фоны.

Недифференцированный фон – когда на одном опытном участке вносится инфекционный материал с разных сортов, регионов и т. д.

Дифференцированный фон – когда на опытном участке вносятся хорошо изученные биотипы или расы патогена. Дифференцированный фон содержит строго дозированное количество хорошо изученных рас возбудителей болезни. При дифференцированном подходе отбор на устойчивость можно вести к отдельным генам.

Для создания инфекционных фонов существует множество различных способов внесения инокулюма или заражения. Эти методические приемы зависят от биологических особенностей возбудителей и их первичной органотропности. Поэтому в зависимости от способа сохранения инфекции и заражения растений методические подходы объединяют в ряд групп. Основные из них следующие.

- 1) Заражение через почву. Культура патогена смешивается с почвой и создается инфекционный фон. Эти приемы используют при поражении только подземных или подземных и наземных органов, если патоген сохраняется в почве. Примерами таких заболеваний являются кила капусты, рак картофеля, корневые гнили, сосудистые микозы и другие.

- 2) Заражение или заsporение семян. Применяют сухое и влажное заsporение, а также вакуумный метод. Это один из способов заражения через почву, но такой методический подход связан с биологическими особенностями патогена сохраняться чаще на поверхности семян и заражать проростки, всходы. Примерами таких заболеваний являются твердая головня пшеницы, ржи, ячменя, головня проса, пыльная головня кукурузы и др.
- 3) Заражение цветков. В этом случае используют ряд приемов: индивидуальное заражение каждого цветка, опыление пучками больных колосьев, вакуумный метод и другие. Такой подход применяется при пыльной головне пшеницы, ячменя, спорынье ржи и других заболеваниях.
- 4) Заражение листьев, стеблей и ветвей. Используют сухой и влажный методы нанесения спор, а также в виде инъекций. Применяется при ржавчинных, мучнисторосяных, ложномучнисторосяных и многих других болезнях.
- 5) Следует отметить, что, независимо от способа создания инфекционного фона или способа заражения растений, следует учитывать тот факт, что для надежной оценки устойчивости растения должны быть свободны от различных инфекций, то есть быть заведомо здоровыми. Только в таком случае можно ожидать достаточно достоверных оценок устойчивости.

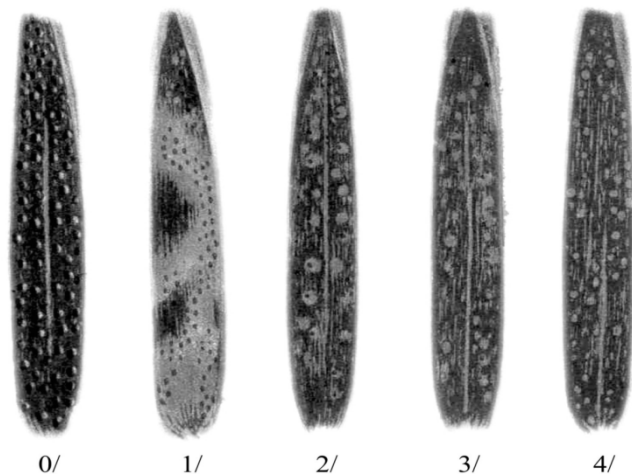
В сельскохозяйственной практике при выведении и испытании новых сортов их устойчивость к болезням должна оцениваться неоднократно, как на начальных этапах селекционного процесса, так и при сортоиспытании и районировании сортов.

При отборе родительских форм и последующей оценке гибридов и сортов важнейшими показателями является степень иммунности и устойчивости растений. В таком случае интерес представляет качественная оценка иммунологической реакции растения на заражение. Такие оценки применяются в селекционных программах, в популяционных исследованиях фитопатогенных организмов и т. п. Оценка иммунологической реакции проводится с использованием шкал иммунности (в баллах или процентах), имеющих вид стандартных рисунков (диаграмм), либо описательных. Обычно баллы, описывающие самое слабое поражение, относят к реакции устойчивости, а поражения, превышающие определенный балл, относят к восприимчивости. Иммунологическая реакция определяется в лабораторных или вегетационных экспериментах в строго контролируемых условиях.

Примером шкалы иммунности, имеющей вид стандартной диаграммы, является шкала оценки пораженности пшеницы ржавчиной,

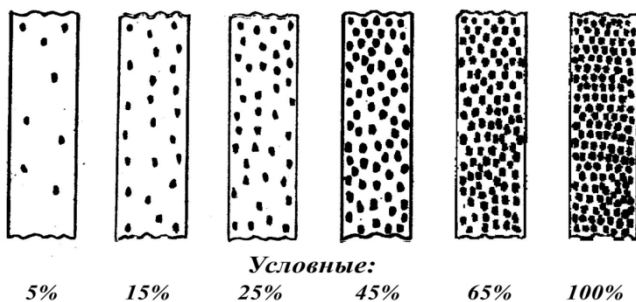
разработанная Т. Д. Страховым (верхняя часть рис. 5; нижняя часть этого рисунка представляет собой шкалу для оценки интенсивности поражения растений).

Типы иммунитета



Пораженность

Площадь листа, занятая пустулами, %



Условные:

1,8-2% 5-6% 9-10% 16-18% 24-26% 38-40%

Действительные:

Рис. 5. Шкала иммунитета Т. Д. Страхова для оценки пораженности пшеницы ржавчиной.

Приведенную на рис. 5 стандартную диаграмму можно также представить в виде следующей описательной шкалы:

Балл шкалы	Описание симптомов	Иммунологическая характеристика
0	Урединии крупные, бархатистые, легко порошащие. Эпидермис листа при созревании урединий легко разрывается и обычно хорошо заметен по их краям в виде прозрачных пленок. Обычно отсутствует обесцвечивание тканей вокруг урединий	Восприимчивый сорт
1	Урединии мельче, чем в предыдущем случае, нередко собраны группами. Большинство урединий вскрывается, а часть не в состоянии прорвать эпидермис. В местах скопления урединий ткань листа обесцвечивается (хлоротические зоны)	Сорт ниже средней устойчивости
2	Урединии мелкие, рассеяны по поверхности листа. Некоторые урединии вскрываются, большинство не в состоянии прорвать эпидермис. Вокруг пустул хорошо заметны обычно округлые зоны обесцвеченной ткани листа	Среднеустойчивый сорт
3	Урединии очень мелкие, рассеяны по поверхности листа, как правило не вскрываются, урединиоспоры в них часто недоразвиты. На листе имеются светлые пятна разной формы и величины – места внедрения гриба. Вокруг недоразвитых урединий и в местах заражения хорошо заметны зоны светлой или светло-желтой ткани листа (некрозы)	Устойчивый сорт
4	Полное отсутствие урединий гриба. Места заражения обнаруживаются по мелким обесцвеченным участкам листа (хлороз и некроз). Некрозы могут отсутствовать	Высокоустойчивый или иммунный сорт

В фитопатологии для оценки устойчивости, или иммунности одних и тех же культур к одним и тем же возбудителям заболеваний обычно

предлагается много шкал. Например, для оценки иммунности пшеницы и ржи к ржавчине, кроме шкалы Т. Д. Страхова, используется также описательная шкала Е. Мейсона и Н. Джексона, и многие другие.

В качестве другого примера шкалы иммунности можно привести описательную 4-балльную шкалу, разработанную для оценки вирулентности изолятов возбудителей сетчатой и темно-бурой пятнистости ячменя М. М. Левитиным с соавторами. Эту шкалу используют через 4-5 суток после заражения отрезков листьев растений ячменя, культивируемых на растворе бензимидазола, суспензией конидий возбудителей. Градации этой шкалы следующие:

Балл шкалы	Описание симптомов
1	Точечные некрозы без хлороза
2	Некротические коричневые пятна с хлоротичным окаймлением или без хлороза, не распространяющиеся по отрезку листа
3	Некротические пятна с хлорозом, распространяющиеся по отрезку листа
4	Некротизирован весь отрезок листа

В условиях лаборатории при искусственном заражении растений абсолютно непоражаемых сортов выявить не удастся, поэтому балл 0 в данной шкале отсутствует. Реакции растения, соответствующие баллам 1 и 2, соответствуют устойчивости, баллам 3 и 4 - восприимчивости.

3.5. Оценки потерь (недобора) урожая

На основании данных учета распространенности и развития болезней сельскохозяйственных культур можно определить размер потерь урожая. Прямой вред от болезни выражается в снижении урожая или его выбраковке вследствие низкого качества полученной продукции. Такой вред определяется по проценту погибших или не давших урожая растений, например при заболевании зерновых культур головней или пустоколосостью, при опадании завязей с плодовых культур и т. д.

В тех случаях, когда болезнь не приводит к гибели всего растения или его частей, составляющих урожай, вред от болезни не поддается непосредственному учету. Его устанавливают опытным путем при сравнении урожая здоровых и больных растений. В простейшем случае потери выражают в процентах от урожая здоровых растений и вычисляют по такой формуле:

$$L = \frac{A - a}{A} \cdot 100 \quad (5)$$

где

L – потери урожая, %;

A – урожай здоровых растений;

a – урожай больных растений.

Формула (5) дает только грубую оценку вредоносности заболевания, так как не учитывает степень его развития. Для более точной оценки эмпирически вычислены формулы для различных заболеваний разных культур, по которым определяют их вредоносность. В некоторых случаях установлена линейная зависимость потерь урожая от числа больных растений, то есть от распространенности заболевания. Например, потери от фитофтороза на клубнях картофеля при хранении равны числу зараженных клубней. Потери урожая пшеницы от огибоза (в %) равны половине числа растений, зараженных огибозом, то есть $L=0,5 \cdot I$.

В большинстве случаев потери урожая связаны с развитием или распространенностью заболевания более сложной зависимостью. Подобные зависимости (представляющие собой регрессионные уравнения) устанавливают эмпирически, используя различные подходы. Например, для зерновых культур можно составить снопики больных растений с разной величиной развития болезни, и оценить средний урожай одного растения в снопике. Затем, построив регрессионное уравнение, можно оценивать потери урожая для конкретных посевов.

Часто используют препараты для химической защиты растений и сравнивают урожай необработанных и обработанных растений при разных уровнях различий в развитии заболевания. Такой подход, однако, не является достаточно надежным, поскольку обработанные фунгицидом растения могут быть свободными не только от учитываемого заболевания, но и от других болезней, что приведет к завышению оценки вредоносности именно конкретной болезни.

В настоящее время в литературе имеется множество различных регрессионных уравнений для оценки потерь урожая различных культур от болезней. В них предсказываются вероятные потери в зависимости от величины развития заболевания.

Например, потери урожая зерновых культур от мучнистой росы можно определить по такой формуле:

$$L = K \sqrt{R}$$

где

L – потери урожая, %;

K – коэффициент, равный 2,0 для пшеницы и 2,5 для овса и яч-

меня;

R – развитие болезни в %.

Зависимость потерь урожая озимой пшеницы от степени развития полосатой мозаики выражается таким уравнением:

$$y = 101,4 - 0,7 \cdot 493R,$$

где

y – урожай (в процентах от потенциального);

R – развитие болезни в %.

В некоторых случаях при вычислении вредоносности заболевания учитывается величина порога вредоносности, то есть уровня развития заболевания, превышение которого вызывает достоверные потери урожая. Например, для обыкновенной корневой гнили зерновых культур порог вредоносности считается равным 10–15 %, а потери урожая составляют от 0,6 до 1 % на каждый процент развития болезни сверх порога вредоносности (две последние цифры представляют собой границы варьирования величины коэффициента вредоносности корневой гнили).

Знать величину потерь урожая от конкретной болезни необходимо для оценки экономической эффективности приемов защиты, и, прежде всего, *экономического порога вредоносности*.

Экономическим порогом вредоносности заболевания называют уровень развития болезни, превышение которого делает рентабельным применение мер борьбы с ним.

Эффективность защитных мероприятий зависит от того, какие показатели мы оцениваем, то есть учитываем ли мы *биологическую, хозяйственную или экономическую эффективность*.

Под биологической эффективностью понимают уменьшение распространенности или развития болезни в опытном варианте в сравнении с контролем или стандартом.

Хозяйственной эффективностью называют количество сохраненного урожая, которое обеспечивает применяемый прием защиты (в абсолютных единицах или процентах).

Экономическая эффективность равна разнице между стоимостью примененного метода защиты растений и стоимостью сохраненного урожая. Фактически она характеризует рентабельность обработки растений.

Вполне очевидно, что никакого практического значения не имеют рекомендации, которые не обеспечивают достаточно высокой экономической эффективности.

Следует учитывать, что точно оценить потери урожая конкретной сельскохозяйственной культуры от конкретного заболевания довольно

сложно, если вообще возможно. Во-первых, при одном и том же уровне развития болезни ее вредоносность и сам по себе урожай зависят от многих сопутствующих обстоятельств, и, прежде всего, от погодных условий. Во-вторых, урожай конкретных сортов растений зависит от уровня их толерантности, то есть от способности не снижать урожай при поражении фитопатогенным организмом. В-третьих, разные исследователи используют разные шкалы учета пораженности одних и тех же культур одной и той же болезнью, что усложняет оценку потерь урожая, так как для каждой шкалы учета следует вычислять свое регрессионное уравнение. В этой же связи дополнительную проблему представляет субъективизм при использовании визуальных шкал учета, поскольку вызывают сомнение пригодность для всех специалистов, даже использующих одну и ту же шкалу учета, некоторого обобщенного регрессионного уравнения.

Кроме того, необходимо отметить, что потери урожая, выраженные в процентах, зависят от общего уровня урожайности в абсолютных числах. Таким образом, например, снижение урожая на 10 ц/га может составить и 10 %, и 50 % для разных уровней урожайности непораженных растений. От общего уровня урожайности также сильно зависит и экономическая эффективность мер борьбы с болезнями. Так, если защитный прием имеет, скажем, биологическую эффективность 70 % и позволяет повысить урожай на 10 % (хозяйственная эффективность), то это может оказаться нерентабельными при урожайности 20 ц/га, но вполне приемлемым при урожайности 70 ц/га. В связи со сказанным, современные дорогостоящие безопасные для окружающей среды средства защиты растений имеют высокую экономическую эффективность только при высоком уровне агротехники, в условиях интенсивного земледелия.

Рекомендуемая литература.

1. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
2. Кирай З., Клемент З., Шоймоши Ф., Береш Й. Методы фитопатологии. – М.: Колос, 1974. – 343 с.
3. Любищев А. А. Дисперсионный анализ в биологии. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 200 с.
4. Методы определения болезней и вредителей сельскохозяйственных растений. – М.: Агропромиздат, 1987. – 224 с.
5. Пересыпкин В. Ф., Тютюрев С. Л., Баталова Т. С. Болезни зерновых культур при интенсивных технологиях их возделывания. – М.: Агропромиздат, 1991. – 272 с.
6. Снедекор Дж. У. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. – М.: Сельхозгиз, 1961. – 497 с.
7. Хохряков М. К., Потлайчук В. И., Семенов А. Я., Элбакян М. А. Определитель болезней сельскохозяйственных культур. – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1984. 304 с.
8. Чумаков А. Е., Минкевич И. И., Власов Ю. И., Гаврилова Е. А. Основные методы фитопатологических исследований. – М.: Колос, 1974. – 192 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ	5
1.1. Признаки и переменные.....	5
1.1.1. Зависимые и независимые переменные.....	6
1.1.2. Дискретные и непрерывные переменные.....	8
1.1.3. Качественные, порядковые и количественные признаки и шкалы их измерения.....	8
1.2. Наблюдение и опыт.....	10
1.2.1. Классификация опытов.....	11
1.3. Классификация полевых опытов и требования к ним.....	14
1.3.1. Классификация полевых опытов	14
2.ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛЕВОГО ОПЫТА	19
2.1. Планирование	19
2.2. Закладка полевого опыта.....	21
2.2.1. Выбор земельного участка под опыт	21
2.2.2. Подготовка и изучение участка.....	23
2.3. Основные элементы методики и техники полевого опыта.....	24
2.3.1. Площадь, форма и направление опытной делянки.....	24
2.3.2. Варианты и повторности опыта	25
2.3.3. Методы размещения вариантов в полевом опыте	27
2.4. Уход и наблюдения за растениями на опытном участке.....	31
2.5. Ведение документации по опыту.....	38
3. МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И УЧЕТА БОЛЕЗНЕЙ РАСТЕНИЙ.....	42
3.1. Общие положения	42
3.2. Отбор образцов.....	44
3.3. Методы диагностики болезней растений.....	45
3.4. Учет распространенности и развития болезней растений.....	47
3.5. Методы оценки устойчивости растений к болезням.....	52
3.5. Оценки потерь (недобора) урожая	58
Рекомендуемая литература.....	62

Навчальне видання

Шамрай Сергій Миколайович
Глущенко Василь Іванович

Основи польових досліджень в фітопатології та фітоімунології

Редактор І. Ю. Агаркова
Коректор Ю. С. Нестеренко
Макет обкладинки Д. В. Леонтьєв

61077, Харків, майдан Свободи, 4, Харківський національний
університет імені В. Н. Каразіна, організаційно-видавничий відділ
НМЦ

Підписано до друку 15.06.2006 р. Формат 60х84/16.
Папір офсетний. Друк ризо графічний.
Обл.-вид. арк. 4,5. Умов.-друк. арк. 4,18

Надруковано ФОП «Петрова І. В.»
61144, вул. Гв. Широнінців 79^а, к. 137

Свідоцтво про державну реєстрацію ВОО № 948011 від 03.01.03